

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

2012

Ondřej Zubek

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra elektroenergetiky**

**Energetická koncepce Smart Grid rodinného domu**

**Electric Power Conception Smart Grid of House**

2012

Ondřej Zubeck

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra elektroenergetiky

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Ondřej Zubek**  
Studijní program: N2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika  
Téma: **Energetická koncepce Smart Grid rodinného domu**  
**Electric Power Conception Smart Grid of House**

Zásady pro vypracování:

1. Současný stav SMART technologií
2. Návrh energetické koncepce pro napájení rodinného domu
3. Posouzení účinnosti systému navržené koncepce

Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] Murtinger, K., Beranovský, J., Tomeš, M.: Fotovoltaika -- 2. vydání, ISBN: 978-80-7366-133-5, Era
- [2] KAMINSKÝ, J.; VRTEK, M. Obnovitelné a alternativní zdroje energie. Ostrava, 2002
- [3] <http://www.maternacz.com/cs/productSheets/smart-metering.pdf>
- [4] [http://www.renesas.com/edge\\_ol/feature/06/index.html](http://www.renesas.com/edge_ol/feature/06/index.html)
- [5] <http://www.ekobydleni.eu/energie/inteligentni-site-ceska-republika-nezustava-pozadu>

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Stanislav Mišák, Ph.D.**

Datum zadání: 30.11.2011

Datum odevzdání: 04.05.2012

  
prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.  
*vedoucí katedry*



  
prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
*děkan fakulty*

---

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě, dne: 4.5.2012



.....  
Ondřej Zubek

## Poděkování

Chci poděkovat svému vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Stanislavu Mišákovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky, které mi pomohly k vytvoření této práce.

## **Abstrakt**

Tato diplomová práce je zaměřena na problematiku využívání obnovitelných zdrojů v elektrických sítích a ostrovních systémech. Teoretická část se zabývá problémy, které způsobuje využívání obnovitelných zdrojů energie, zejména fotovoltaických elektráren v klasických sítích a možnostem, které přináší Smart technologie a kogenerační výroba při řešení těchto problémů. Cílem práce bylo navrhnout ostrovního napájecího systému pro rodinný dům, který je schopný zajistit stabilní dodávku elektrické energie po celý rok. Jako zdroje elektrické energie jsou využity kogenerační jednotka a malá fotovoltaická elektrárna.

## **Klíčová slova**

Chytrá síť, fotovoltaická elektrárna, kogenerační jednotka, akumulace elektrické energie, regulátor nabíjení, měnič napětí, ostrovní napájecí systém.

## **Abstract**

The diploma thesis is focused on issue of renewable resources in electric grids and island systems. The theoretical part deals with problems that are caused by using renewable energy resources, especially photovoltaic power plants used in standard grids, and raising possibilities with Smart Technologies and cogeneration production in dealing with this issues. The purpose of this thesis is to design the island power system that will be able to assure steady delivery of energy to family house for the whole year. Cogeneration units and small photovoltaic power plant are utilized as resources of electric energy.

## **Key words**

Smart grid, photovoltaic power plant, cogeneration unit, electric power accumulation, charge controller, voltage transformer, island power system.

## Seznam použitých symbolů a zkratek

$c$	měrná tepelná kapacita vody	$(\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$
$C_B$	kapacita baterie	$(\text{A} \cdot \text{h})$
$d$	délka topného období	$(\text{dny})$
$D$	vytápěcí denostupně	$(\text{K} \cdot \text{dny})$
$DOD_{\text{MAX}}$	hloubka vybití baterie	$(-)$
$E_{C,d}$	celková denní výroba elektrické energie	$(\text{kW} \cdot \text{h})$
$E_{C,m}$	celková měsíční výroba elektrické energie	$(\text{kW} \cdot \text{h})$
$E_{\text{FVE},d}$	denní výroba elektrické energie fotovoltaickou elektrárnou	$(\text{kW} \cdot \text{h})$
$E_{\text{FVE},m}$	měsíční výroba elektrické energie fotovoltaickou elektrárnou	$(\text{kW} \cdot \text{h})$
$E_{\text{KJ},m}$	měsíční výroba elektrické energie kogenerační jednotkou	$(\text{kW} \cdot \text{h})$
$E_m$	měsíční potřeba výroby elektřiny	$(\text{kW} \cdot \text{h})$
$E_{p,m}$	využití měsíční přebytky z výroby elektřiny	$(\text{kW} \cdot \text{h})$
$E_{\text{RD},m}$	měsíční spotřeba elektřiny pro rodinný dům	$(\text{kW} \cdot \text{h})$
$E_Z$	energie potřebná pro bezproblémový provoz	$(\text{W} \cdot \text{h})$
$I_{\text{FVE},\text{max}}$	maximální proud z fotovoltaické elektrárny	$(\text{A})$
$k$	koeficient respektující stárnutí baterii	$(-)$
$n$	počet dní bez dobíjení	$(-)$
$N$	počet pracovních dní soustavy v roce	$(\text{dny})$
$P_{C,\text{max}}$	maximální výkon obou zdrojů	$(\text{W})$
$P_{\text{el}}$	elektrický výkon kogenerační jednotky	$(\text{kW})$
$P_{\text{tep}}$	tepelný výkon kogenerační jednotky	$(\text{kW})$
$P_{\text{TS}}$	výkon topné spirály	$(\text{kW})$
$Q_C$	tepelná ztráta objektu	$(\text{kW})$
$Q_{G,m}$	měsíční spotřeba plynu kogenerační jednotkou	$(\text{kW} \cdot \text{h})$
$Q_{G,r}$	roční spotřeba plynu kogenerační jednotkou	$(\text{kW} \cdot \text{h})$
$Q_{\text{KJ},m}$	měsíční výroba tepla kogenerační jednotkou	$(\text{kW} \cdot \text{h})$
$Q_m$	měsíční potřeba tepla na vytápění a ohřev teplé vody	$(\text{kW} \cdot \text{h})$
$Q_{\text{TS},m}$	měsíční výroba tepla topnou spirálou	$(\text{kW} \cdot \text{h})$
$Q_{\text{TUV},d}$	denní průměrná potřeba tepla pro ohřev teplé vody	$(\text{kW} \cdot \text{h})$
$Q_{\text{TUV},m}$	měsíční potřeba tepla na ohřev teplé vody	$(\text{kW} \cdot \text{h})$
$Q_{\text{TUV},r}$	roční potřeba tepla na ohřev teplé vody	$(\text{kW} \cdot \text{h})$
$Q_{\text{VYT},m}$	měsíční potřeba tepla na vytápění	$(\text{kW} \cdot \text{h})$
$Q_{\text{VYT},r}$	roční potřeba tepla na vytápění	$(\text{kW} \cdot \text{h})$
$t_1$	teplota studené vody	$(^{\circ}\text{C})$
$t_2$	teplota ohřáté vody	$(^{\circ}\text{C})$
$T_{\text{CF}}$	teplotní korekční faktor	$(-)$
$t_e$	venkovní výpočtová teplota	$(^{\circ}\text{C})$
$t_{\text{es}}$	průměrná teplota během otopného období	$(^{\circ}\text{C})$
$t_{\text{is}}$	průměrná vnitřní výpočtová teplota	$(^{\circ}\text{C})$
$T_{\text{KJ},d}$	denní provozní doba kogenerační jednotky	$(\text{hodin})$
$t_{\text{svl}}$	teplota studené vody v létě	$(^{\circ}\text{C})$
$t_{\text{svz}}$	teplota studené vody v zimě	$(^{\circ}\text{C})$
$T_{\text{TS},d}$	denní provozní doba topné spirály	$(\text{hodin})$
$V_{2p}$	celková potřeba teplé vody za 1 den	$(\text{m}^3 \cdot \text{den}^{-1})$
$V_B$	napětí baterie	$(\text{V})$
$z$	koeficient energet. ztrát systému pro přípravu teplé vody	$(-)$
$\varepsilon$	opravný součinitel	$(-)$
$\eta_B$	účinnost baterie	$(-)$

$\eta_{el}$	elektrická účinnost kogenerační jednotky	(-)
$\eta_o$	účinnost obsluhy resp. možnosti regulace soustavy	(-)
$\eta_{OP}$	účinnost ostrovního provozu	(-)
$\eta_r$	účinnost rozvodu vytápění	(-)
$\eta_{tep}$	tepelná účinnost kogenerační jednotky	(-)
$\eta_{TS}$	účinnost topné spirály	(-)
$\rho$	měrná hmotnost vody	(kg·m <sup>-3</sup> )
$\Phi_{TUV,m}$	koefficient časového rozložení roční spotřeby teplé vody	(-)
$\Phi_{VYT,m}$	koefficient rozdělení potřeby tepla na vytápění	(-)



## Obsah

Úvod .....	1
<b>1 Smart Grid.....</b>	<b>2</b>
1.1 Význam Smart Grids.....	2
1.2 Architektura „chytré sítě“ .....	3
1.3 Možnosti řešení nevyužitého přebytku výroby .....	4
1.4 Popis sítě .....	4
1.5 Výroba elektrické energie .....	7
1.6 Akumulace elektrické energie.....	9
1.6.1 Akumulace energie v přečerpávacích elektrárnách.....	9
1.6.2 Elektrochemické akumulátory .....	9
1.6.3 Akumulace elektrické energie v superkapacitorech.....	10
1.6.4 Akumulace elektrické energie přeměnou na vodík .....	11
1.7 Výhody a nevýhody Smart Grids .....	12
1.8 Smart Grids v evropském kontextu.....	13
1.9 Smart Grids v ČR (Vrchlabí) .....	13
1.10 Smart Metering .....	14
1.11 Sběr dat v chytré síti.....	15
1.12 Přínosy a nedostatky Smart Meteringu .....	17
1.13 Legislativa .....	17
<b>2 Ostrovní systémy pro napájení rodinného domu .....</b>	<b>18</b>
2.1 Fotovoltaické systémy pro napájení rodinného domu.....	19
2.2 Akumulátory pro ostrovní systémy .....	22
2.3 Regulátory pro ostrovní systémy .....	23
2.4 Vytápění objektů, trendy .....	23
2.5 Výroba elektřiny a vytápění kogenerační jednotkou.....	24
2.6 Potřeba tepla pro vytápění.....	25
2.7 Potřeba tepla pro ohřev teplé vody.....	27
2.8 Celková měsíční potřeba energie na vytápění a ohřev teplé vody .....	29
<b>3 Návrh ostrovního systému .....</b>	<b>30</b>
3.1 Popis systému.....	30
3.2 Popis energetické bilance ostrovního provozu.....	32
3.3 Popis komponent ostrovního systému.....	33
3.4 Náklady na pořízení ostrovního systému .....	38
<b>4 Energetická koncepce ostrovního systému .....</b>	<b>39</b>
4.1 Potřeba elektrické energie pro rodinný dům .....	39
4.2 Potřeba tepla pro vytápění.....	41
4.3 Potřeba tepla pro ohřev teplé vody.....	43
4.4 Celková měsíční potřeba energie na vytápění a ohřev teplé vody .....	45
4.5 Odhad výroby Fotovoltaické elektrárny.....	46
4.6 Výroba elektrické energie kogenerační jednotkou .....	47
4.7 Celková bilance výroby a spotřeby elektřiny .....	49

4.8 Celková bilance výroby a spotřeby tepelné energie a provozní doba zdrojů .....	50
4.9 Dimenzování kapacity akumulátoru .....	52
4.10 Dimenzování výkonu topné spirály .....	53
4.11 Náklady na provoz ostrovního systému .....	54
4.12 Účinnost komponent ostrovního systému .....	55
<b>Závěr .....</b>	<b>57</b>
<b>Seznam použité literatury.....</b>	<b>59</b>

# Úvod

Tato práce se zabývá vlivem obnovitelných zdrojů energie na stabilitu elektrické sítě, zejména výroby z fotovoltaických elektráren. Dále pak možnostmi jak se s těmito nežádoucími vlivy vypořádat s použitím Smart technologií a kogenerační výroby energie. Cílem práce bylo využití fotovoltaické elektrárny a kogenerační jednotky pro napájení rodinného domu a určení celkové energetické bilance.

První část práce je věnována tomu, jakou cestou se v současné době ubírá energetika ve snaze splnit závazek EU o snížení emisí. Je zaměřena na problémy, které způsobuje využívání obnovitelných zdrojů energie v klasických sítích. Dále pak na možnosti, které přináší chytré sítě, kogenerační výroba a akumulace energie při řešení těchto problémů.

Druhá část práce se zabývá ostrovními napájecími systémy, využitím fotovoltaické elektrárny a kogenerační jednotky pro zajištění výroby elektřiny a tepla. Dále pak stanovením potřeby elektrické a tepelné energie pro rodinný dům.

Třetí částí práce obsahuje návrh ostrovního systému, který je určen pro pokrytí potřeb rodinného domu. Tento systém využívá jako zdroje malou fotovoltaickou elektrárnu a kogenerační jednotku. Oba dva zdroje se svými profily výroby elektrické energie vhodně doplňují. Systém je plně automatizovaný a navržený tak, aby zajišťoval stabilní dodávku elektrické energie po celý rok. Kogenerační jednotka se využívá na výrobu tepla pro vytápění a ohřev teplé vody. Systém je navržen tak, že využívá veškerou vyrobenou energii z obnovitelného zdroje a efektivně vyrábí a využívá energii z neobnovitelného zdroje. Dům je naprosto nezávislý na dodávkách elektrické energie ze sítě a je připojen na rozvody zemního plynu.

Poslední část je zaměřena na energetickou koncepci navrženého ostrovního systému. Jsou zde uvedeny veškeré výpočty využité pro návrh, odhady a výpočty měsíční výroby elektřiny obou zdrojů, tepelná bilance výroby kogenerační jednotky a topné spirály. Je zde stanovena kapacita akumulátoru tak, aby systém byl spolehlivý. Dále jsou zde vyčísleny náklady na provoz systému.

# 1 Smart Grid

Inteligentní rozvodná síť energie, neboli Smart Grid, je elektrická síť, která umí integrovat veškeré funkce všech připojených zařízení – generátorů energie i spotřebičů tak, aby byla zajištěna stabilní, ekonomická a efektivní dodávka elektrické energie.

[ 35 ]

## 1.1 Význam Smart Grids

Jedním z důvodů pro zavedení inteligentních rozvodných sítí energie, je snaha o pokrytí rostoucí spotřeby elektřiny s ohledem na životní prostředí. Roste využití obnovitelných zdrojů elektrické energie (OZE), a proto se často mluví o potřebě modernizace distribučních sítí. Větrné a solární elektrárny totiž nedodávají do sítě stálý výkon, na rozdíl od jaderných elektráren, nebo třeba jiných parních elektráren. Současné rozvodné soustavy na to však nejsou stavěné. Koncept inteligentních rozvodných sítí energie představuje řešení, které umožňuje vyrovnat kolísavou dodávku elektrické energie a poptávku po energii. Inteligentní síť má tu schopnost, že dokáže obousměrně komunikovat a díky tomu pružně reagovat na měnící se výrobní a spotřební nároky. Smart Grid dokážou lépe propojit energii z obnovitelných zdrojů s energií konvenční.

[ 36 ]

Inteligentní (chytrá) síť má tyto funkce:

- a) Výroba elektrické energie;
- b) Přenos a distribuce energie ke spotřebiteli;
- c) Akumulace přebytečné energie;
- d) Monitorování sítě;
- e) Organizování a řízení části spotřeby.

Celá koncepce zahrnuje tři základní oblasti:

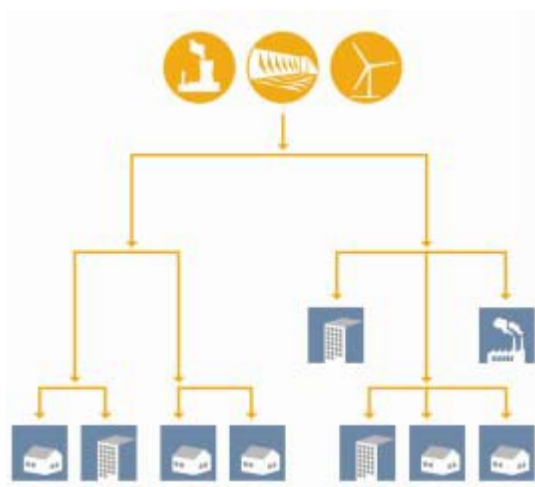
- a) Smart Grid – inteligentní (chytré) síť;
- b) Smart Meters – inteligentní měřicí přístroje tvoří jádro Smart Grid;
- c) Smart Home – inteligentní domov pro lepší využití energie v místě spotřeby.

[ 3 ]

## 1.2 Architektura „chytré sítě“

U sítě typu Smart Grids (obr. č. 1.2) je jiná topologie než u tradiční distribuční sítě (obr. č. 1.1). U tradiční distribuční sítě je pouze jednosměrný tok energie a komunikace, kdežto u sítě typu Smart Grids je tento tok obousměrný. Chytré sítě mají navíc automatické monitorování stavu sítě, které umožňuje rychlejší obnovu v případě poruchy. Použití satelitní, rádiové komunikace umožňuje rychlejší odhalení poruchy než v klasické distribuční síti. Monitorování aktuálního stavu a možnost komunikace s odběrateli umožňuje taky organizování poptávky v závislosti na dostupnosti elektřiny.

[ 3, 4 ]



Obr. č. 1.1 - Tradiční síť



Obr. č. 1.2 - Síť Smart Grid

[ 5 ]

### Srovnání tradiční sítě s Smart Grid

#### Tradiční síť

- centrální výroba energie;
- jednosměrný tok energie;
- výroba sleduje poptávku;
- řízení a plánování „shora-dolů“;
- řízení a plánování především na základě zkušeností.

#### Smart Grid

- centrální i distribuovaná výroba energie;
- obousměrný tok energie;
- přerušovaná a těžko předvídatelná výroba v OZE;
- spotřeba do jisté míry sleduje výrobu;
- spotřeba je nedílnou součástí operativního řízení;
- řízení a plánování na základě real-time informací.

[ 5 ]

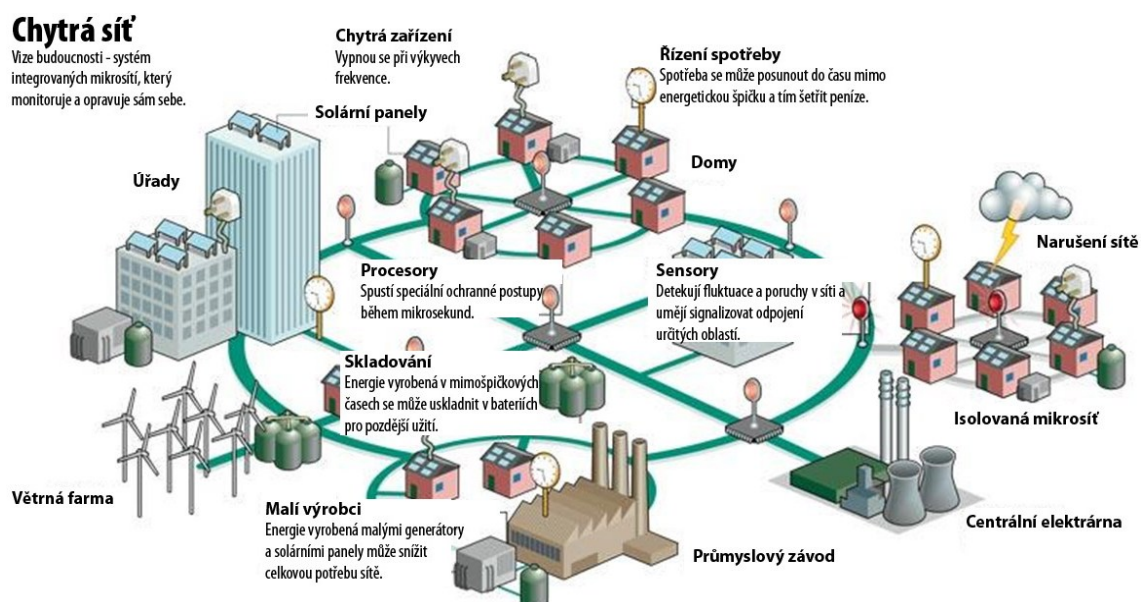
### 1.3 Možnosti řešení nevyužitého přebytku výroby

- a) Řízení výroby – krátkodobé snížení výroby energie u neobnovitelných zdrojů, to však není vhodné u parních a jaderných elektráren;
- b) Akumulace nadbytečné energie – je nutná dostatečná akumulční kapacita;
- c) Řízení spotřeby – Využitím obousměrné komunikace inteligentní sítě jde přizpůsobit spotřebu výrobě;
- d) Export nadbytečné energie – předpoklady pro export jsou správné odhady a přenosová kapacita;
- e) Integrace obnovitelných zdrojů energie (OZE) do virtuálních elektráren. Ty mohou nabídnout určitou regulaci výkonu a výhodnější profil výroby. Virtuální elektrárna se navenek chová jako jeden zdroj. Je to vlastně mix různých zdrojů energie, její akumulace a říditelné zátěže.

[ 35 ]

### 1.4 Popis sítě

Chytrou síť by měl utvářet systém integrovaných mikrosít, který se sám monitoruje a opravuje. Porucha se co nejdříve musí izolovat na určité části sítě (ostrovu), tak aby nedocházelo k problémům v ostatních částech (viz obr. č. 1.3).



Obr. č. 1.3 – Funkční schéma sítě

[ 6 ]

System chytré sítě připomíná spíš internet než klasickou elektrickou síť. Klíčovými složkami této sítě jsou inteligentní elektroměry, digitalizované rozvodny, vysoce účinné transformátory, zdroje vyrábějící energii a další zařízení. Centralizovaný informační a kontrolní systémem propojuje tyto složky. Zajišťuje monitorování sítě, identifikace a automatické opravy chyb, popřípadě vyslání servisního týmu k místu poruchy. Tento systém taky shromažďuje informace důležité pro zlepšení spolehlivosti, efektivnosti a produktivity v celém řetězci, od výroby až po spotřebu.

[ 6 ]

### **Části chytré sítě podle jejich funkcí:**

#### **a) Výroba elektrické energie**

- velké solární elektrárny a větrné farmy - obnovitelné zdroje energie (OZE) závislé na počasí;
- jiné obnovitelné zdroje – elektrárny na biomasu/bioplyn, geotermální a vodní elektrárny;
- kogenerační jednotky ;
- malé zdroje energie patřící do Smart Home (např. solární a větrné elektrárny);
- tradiční elektrárny – jaderné, uhelné, atd.

#### **2) Spotřebitelé energie**

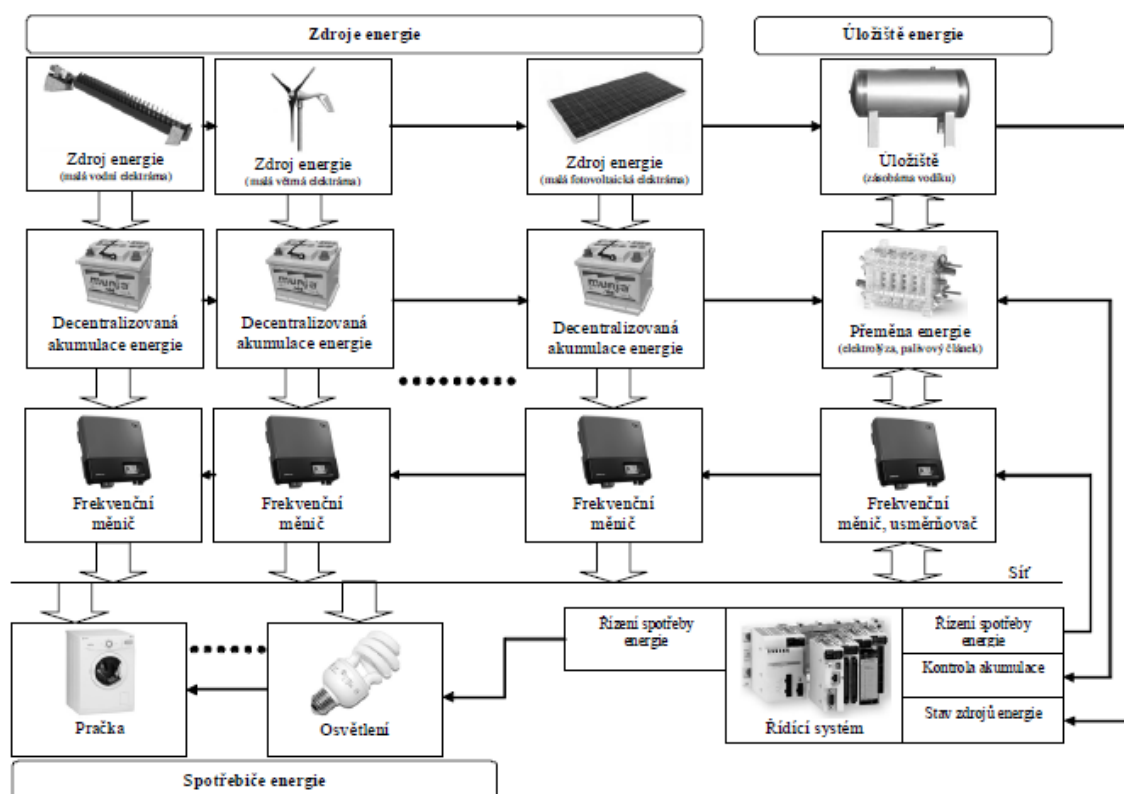
- průmyslové podniky;
- komerční zákazníci;
- obytné domy sdružené do mikrosít;
- řízená spotřeba v Smart Home;
- řízená spotřeba v průmyslu u výrobních procesů, které mohou běžet v libovolném čase;
- dobíjecí stanice pro elektromobily.

#### **3) Akumulace energie**

- zásobníky energie;
- přepouštěcí vodní elektrárny;
- dobíjecí stanice pro elektromobily;
- akumulace energie v Smart Home sdružených do mikrosít (baterie, elektromobily).

#### 4) Přenos a distribuce energie, řízení a monitorování sítě

- Smart metry-pro měření a řízení spotřeby (rozhraní mezi Smart Grid a Smart Home);
- dálkové ovladače a různé senzory;
- koncentrátoři pro sběr dat od podřízených měřidel;
- datová centrála (automatizované kontrolní centrum);
- jednotky fázového měření PMU (Phasor Measurement Unit);
- vedení, digitalizované rozvodny, vysoce účinné transformátory.



Obr. č. 1.4 – Schéma toku energie a jejího řízení v chytré síti

[ 7 ]



## 1.5 Výroba elektrické energie

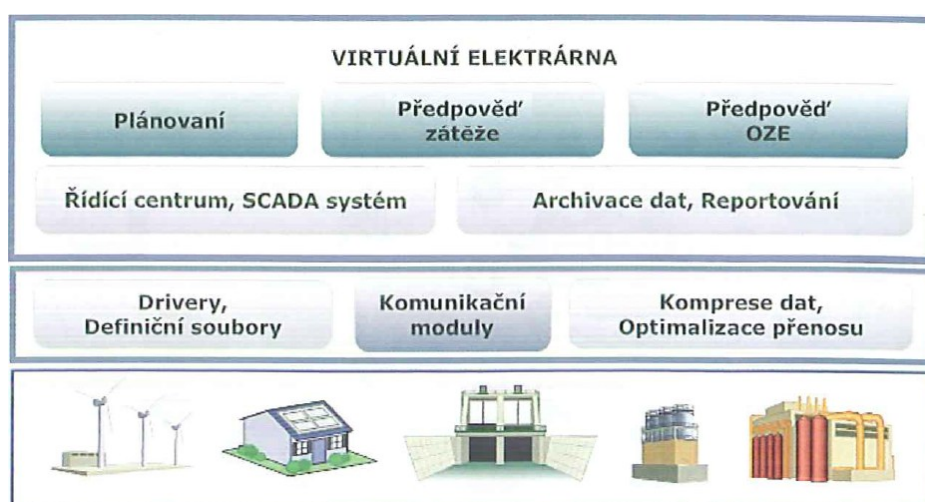
V infrastruktuře chytré sítě by mělo být několik klasických výroben elektřiny a velké množství malých lokálních elektráren, které pracují na různých fyzikálních principech. Všechny tyto části by měly být řízeny jedním systémem. Inteligentní sítě mají velký potenciál v účinném využití energie. Pokud přestane nějaký zdroj dodávat energii, je v co nejkratším čase nahrazen jiným zdrojem. Tato síť se bude skládat z několika inteligentních mikrosítí řízených jedním centrálním řízením. Mikrosítím obsahující zdroje energie říkáme virtuální elektrárny.

[ 7 ]

### Virtuální elektrárny

Virtuální elektrárny jsou lokálně rozmístěné ostrůvky složené z menších výrobních jednotek. Využívají různé alternativní zdroje energie, které umožňuje daná lokalita. A to buď několik, nebo pouze jeden typ alternativního zdroje. Mohou být složené z větrných farem, malých vodních elektráren, slunečních elektráren a taky z plynových a bioplynových elektráren, které zajišťují stabilizační funkci. Mezi ně tedy patří i kogenerační jednotky. Tyto virtuální elektrárny jsou centrálně řízeny v rámci jednotné elektrické soustavy. Z hlediska elektrické soustavy se virtuální elektrárny chovají jako výrobní jednotky většího výkonu. Virtuální elektrárny tvoří jeden ze základních stavebních kamenů Smart Grids. Pracují na principu bilanční vyváženosti výroby a spotřeby energie v regionu, městě nebo výrobním areálu. Skládají se z několika na sebe navazujících částí - centrální dispečerské řízení, komunikace s potřebnými institucemi, datové sklady, analytické a optimalizační nástroje a to vše zastřeší obchodně regulační institut. Je to vlastně technologická instituce, schopná optimálního řízení a regulace výroby elektrické energie.

[ 7,8 ]



Obr. č. 1.5 – Ukázka modulů virtuální elektrárny

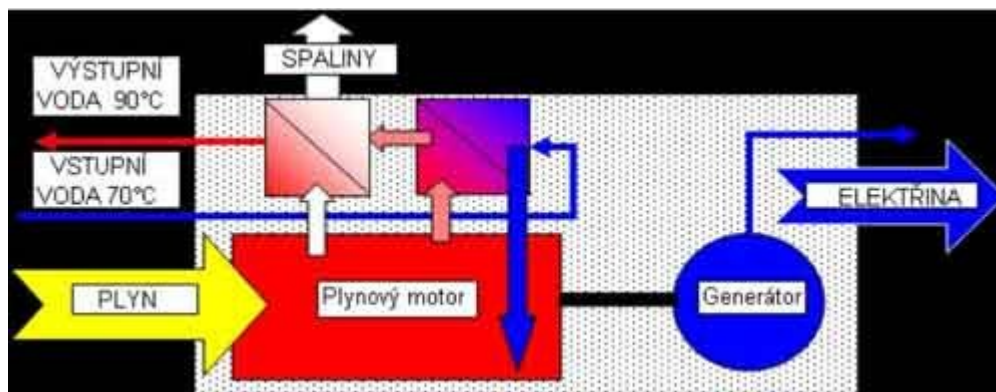
[ 8 ]

## Kogenerační jednotky

Pracují na principu kogenerace, neboli sdružené výroby elektřiny a tepla. Při procesu přeměny energie z paliva se nejdříve využívá vysokopotenciální tepelná energie k vykonání práce pro tvorbu elektřiny a teprve potom se pracovní látka o nižší teplotě využije pro potřeby tepla. Efektivního využití ztrátového tepla lze dosáhnout jen v místech, kde je dostatek subjektů, které by mohli vzniklé teplo spotřebovávat. Budování teplovodů je totiž efektivní jen na určité vzdálenosti. Z tohoto důvodu mají kogenerační jednotky obrovskou výhodu oproti velkým elektrárnám. Kogenerační jednotky se dělají v menších i větších provedeních, proto jdou využívat pro vytápění rodinných domů, průmyslových závodů, anebo více objektů najednou (městské teplárny). Výhodou kogeneračních jednotek je poměrně dobré ovládání a jejich rychlý náběh. Výroba tepla se odvíjí od jeho potřeby a jde ji částečně předvídat z předpovědi počasí. Lze tedy i dopředu odhadnout množství elektrické energie, kterou vyrobí menší kogenerační jednotky, které nemůže energetická společnost ovládat. Za chladného počasí bude potřeba více tepla a tím pádem se vyrobí i více elektrické energie.

Podstatnou výhodou kogeneračních jednotek je vzájemné doplňování se solárními elektrárnami, protože nepracují na plný výkon ve stejném období. Kogenerační jednotky využíváme nejvíce přes zimní období a méně pak na jaře a na podzim. Solární elektrárny pracují na plný výkon zase v letním období, když je sluneční energie nejsilnější.

[ 7 ]



Obr. č. 1.6 – Schéma kogenerační jednotky na plyn

[ 9 ]

## 1.6 Akumulace elektrické energie

Akumulace elektrické energie je jeden z hlavních prostředků jak eliminovat převis výroby elektřiny, nebo ho alespoň zčásti omezit. Vývoj a rozšíření prostředků a zařízení pro akumulaci energie je tedy jednou z technologických podmínek pro realizaci chytrých sítí. Přebytečná elektrická energie by se měla akumulovat, nebo efektivně přeměnit do jiné formy energie. Nyní se v podmínkách Smart Grids pro uchování energie využívají hlavně akumulátorové baterie (elektrochemická akumulace), v budoucnosti se počítá s technologií akumulace primární energie využívající principy supravodivosti a taky s akumulací elektrické energie přeměnou na vodík.

[ 10 ]

### 1.6.1 Akumulace energie v přečerpávacích elektrárnách

Další možností akumulace energie je pomocí přečerpávacích elektráren. Princip vychází z toho, že můžeme přečerpávat vodu mezi dvěma nádržemi potrubím s reverzní turbínou. Jedna nádrž je umístěna výše než druhá. Při přebytku energie čerpáme vodu do horní nádrže, tím voda zvyšuje svou potenciální energii a v době nedostatku energie může voda naopak tuto energii předávat turbíně, a tím vyrábět elektrickou energii. Tímto lze vyrovnávat nerovnoměrný odběr energie z rozvodné sítě ve špičkách a mimo ně. V ČR byly velké přečerpávací elektrárny konstruovány hlavně pro akumulaci přebytku elektrické energie z jaderných elektráren v mimošpičkové době. Přečerpávací elektrárny je však možné využít i k akumulaci energie z obnovitelných zdrojů. V ČR jsou tři velké přečerpávací elektrárny a další výstavba se plánuje. Na podobném principu jako vodní přečerpávací elektrárny pracují i vzduchové elektrárny s tlakovými zásobníky. U vzduchových elektráren se přebytečnou elektrickou energií pohání kompresor, který stlačuje vzduch do utěsněných prostor, to mohou být třeba prostory po vytěžené ropě, nebo umělé zásobníky. Stlačený vzduch se pak při nedostatku elektrické energie přivede na plynovou turbínu. Plynová turbína pohání soustrojí s generátorem elektrické energie.

[ 11 ]

### 1.6.2 Elektrochemické akumulátory

Elektrochemické akumulátorové baterie ukládají elektrickou energii ve formě chemické energie. Výhodou je dobře zvládnutá technologie jejich výroby, mnohonásobné opětovné nabíjení, proveditelné použití kdekoli a nízká pořizovací cena. Nevýhodou těchto akumulátorů je jejich samovybíjení. Při hlubokém vybíjení dochází k nevratným změnám na elektrodách a tím i k snižování kapacity akumulátoru. Tento způsob akumulace je málo efektivní z hlediska poměru akumulované energie ke hmotnosti akumulátoru.

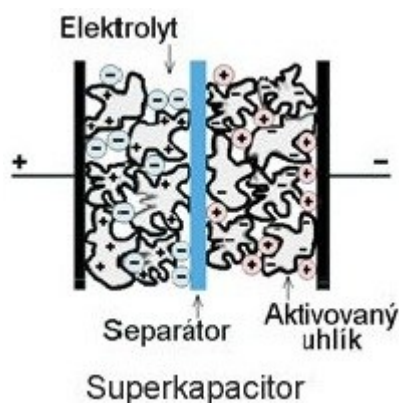


Obr. č. 1.7 – Akumulátory určené pro ostrovní fotovoltaické systémy inteligentní

[ 11 ]

### 1.6.3 Akumulace elektrické energie v superkapacitorech

Teprve v několika posledních letech roste využívání superkapacitorů k akumulaci elektrické energie. Superkapacitory se díky malému vnitřnímu odporu využívají především v elektromobilech a hybridních automobilech. Umožňují totiž rychlou akumulaci energie při brzdění a rychlé dodání energie při akceleraci. Díky dobré perspektivě lze očekávat další rozvoj tohoto způsobu akumulace energie. Jejich cena je zatím vysoká, ale dá se předpokládat do budoucna její pokles. Kvůli malému vnitřnímu odporu tohoto zdroje, je vhodné při jeho nabíjení používat napěťové měniče, které jsou schopny omezit velký nabíjecí proud. Měniče mohou rovněž řídit vybíjení. Superkapacitory mají účinnost akumulace až 95 %. Nevýhodou je závislost napětí na uloženém náboji, což lze omezit použitím vhodných napěťových měničů. Superkapacitory se jeví jako vhodné pro kompenzaci krátkodobých výkyvů fotovoltaických elektráren. Použití se dá předpokládat i v ostrovních fotovoltaických systémech namísto klasických elektrochemických akumulátorů.

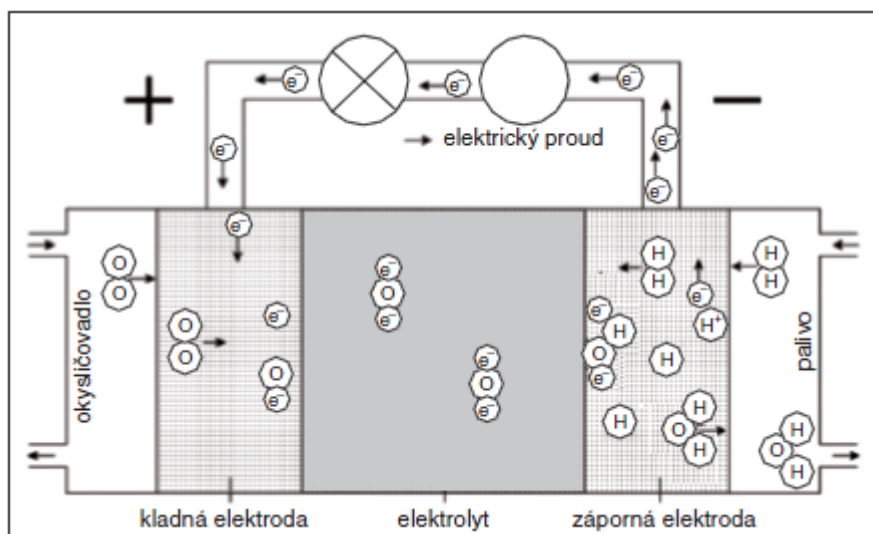


Obr. č. 1.8 – Schéma vnitřního uspořádání superkapacitoru

[ 11 ]

### 1.6.4 Akumulace elektrické energie přeměnou na vodík

Jedním ze způsobů využití přebytečného výkonu je akumulace elektrické energie do výroby vodíku. U obnovitelných zdrojů energie je tato akumulace energie zvláště perspektivní, protože nestálost dodávaného výkonu působí problémy v rozvodné síti. Podstatou je výroba vodíku elektrolýzou vody a jeho jímání a skladování pro pozdější použití. Vodík může být později přeměněn oxidací vodíku na elektrickou, mechanickou či tepelnou energii. K oxidaci může docházet v plynovém kotli, spalovacím motoru, nebo řízeným způsobem v palivovém článku. Vodík jako palivo má nejvyšší výhřevnost ze všech paliv – až 100 MJ/kg. Spalováním vodíku vzniká pouze vodní pára a menší množství oxidů dusíku. Vodík lze použít i jako palivo do spalovacích motorů. Existují automobily i autobusy na vodík i čerpací stanice pro ně určené. Pro skladování vodíku musí být použity speciální tlakové zásobníky z materiálů nereagujících s vodíkem. S vodíkem je nutně při jeho skladování zacházet velmi opatrně, se vzduchem tvoří výbušnou směs. Palivové články přeměňují řízenou elektrochemickou reakcí energii akumulovanou do vodíku zpět na elektrickou energii studeným spalováním. Palivové články založené na slučování vodíku s kyslíkem jsou nejjednodušší a zároveň nejpropracovanější. Palivové články využívá i vodíkový elektromobil, který má místo spalovacího motoru palivové články a elektromotor.



Obr. č. 1.9 – Schéma palivového článku

[ 11 ]

## 1.7 Výhody a nevýhody Smart Grids

Smart Grids s sebou přinášejí řadu výhod i nevýhod oproti klasickým sítím. Pokusím se zde shrnout alespoň ty nejdůležitější.

### Výhody Smart Grids

a) pro výrobce:

- Smart Grids umožňují zapojení většího množství alternativních zdrojů energie a to v kombinaci s tradičními zdroji.

b) pro distributora:

- monitorují děj a technický stav rozvodné sítě, řeší poruchy a výpadky a dodávají podněty pro obnovení rozvodné sítě;
- Smart Grids rozpoznají situaci, kdy dojde k přetížení distribuční sítě, a reagují přesměrováním toku energie, čímž se sníží přetížení a tím se vyhnou výpadku.

c) pro zákazníka:

- zajišťují stabilnější dodávky elektrické energie;
- Smart Grids dokážou komunikovat se zákazníkem v reálném čase a tím umožňují optimalizaci jeho spotřeby s ohledem na cenu energie.

[ 3 ]

### Nevýhody Smart Grids

a) Vysoké investiční náklady na technologie:

- náklady na zbudování zásobníků energie;
- náklady na pořízení Smart metrů;
- náklady na změnu topologie celé sítě;
- náklady na proškolení lidí.

b) Náklady na software a zabezpečení:

- je zapotřebí zabezpečit ovládání sítě proti hackerům a proti selhání softwaru;
- vybavit ji automatickými ochranami, které ji budou chránit před kritickým selháním;
- je nutné vyřešit možné selhání snímacích senzorů sítě.

[ 12 ]

## **1.8 Smart Grids v evropském kontextu**

Hlavním podnětem pro energetiku EU je v nynější době tzv. SET Plan (Strategic Energy Technology Plan). Ten stanovuje tři hlavní cíle pro energetiku, které spolu úzce souvisí. Prvním cílem je do roku 2020 splnit závazek EU o snížení emise skleníkových plynů o 20 % oproti úrovni z roku 1990. Dalším cílem je zvýšení podílu obnovitelných zdrojů energií v celkovém energetickém mixu EU na 20 % a třetím cílem je zvýšení energetické účinnosti o 20 %. Snahou Evropské komise (EK) je tedy rozvíjet efektivní nízkouhlíkové energetické technologie a podporovat jejich zavádění. V rámci SET Plan začala v roce 2010 činnost Evropské iniciativy pro chytré sítě (EEGI), která se zaměřuje na podporu vědy, výzkumu a rozvoj projektů v Evropě, jejichž cílem je vyzkoušet jednotlivé funkční celky a koncepty Smart Grids. EEGI by měla odhalovat „mezery“ v oblasti technologií a tržního modelu.

[ 8 ]

## **1.9 Smart Grids v ČR (Vrchlabí)**

Od konce roku 2009 je v ČR realizován skupinou ČEZ se spoluprací s městem Vrchlabí projekt s názvem Smart Region. Tento projekt vznikl v rámci iniciativy EEGI. Je zaměřený na komplexní testování funkcionalit Smart Grids v distribuční síti. V projektu Smart Region jsou nasazovány nejmodernější technologie do distribuční sítě, testuje se provoz inteligentních elektroměrů a technologie k řízení sítě. V rámci projektu se testuje zavádění elektromobility a možnosti zapojení zákazníků a jejich chování. Využívají se taky lokální výrobní zdroje energie (kogenerační jednotky). Skupina ČEZ je jediným zástupcem distributorů z iniciativy EEGI v regionu střední Evropy.

[ 8 ]

## 1.10 Smart Metering

Pod pojmem „Smart Metering“ bychom si měli představit dálkovou obousměrnou komunikaci mezi chytrým měřidlem (Smart metrem) a datovou centrálou. Ta umožňuje sběr dat z měření, jejich automatické vyhodnocení a řízení jednotlivých částí sítě. Umožňuje připojení a odpojení měřicího místa, informování zákazníka o aktuální spotřebě a aktuální ceně energie.

[ 13 ]

### Srovnání klasického a chytrého elektroměru

Klasický elektroměr měří pouze kumulovanou celkovou spotřebu, která je většinou jednou do roka ručně odečtena. Na základě odečtu spotřeby je vystavena zákazníkovi faktura. Klasický elektroměr neměří žádné jiné veličiny. Neměří průběh spotřeby v čase, neumí zaznamenávat historii spotřeby. Přesnost měření je u tohoto typu elektroměru poměrně snadno ovlivnitelná.

Chytré elektroměry jsou digitální přístroje. Měří více veličin než klasický elektroměr - napětí, proud, účinník, frekvenci. Chytré elektroměry dokážou zaznamenat nestandardní jevy - přepětí, podpětí, pokus o mechanický zásah do elektroměru a ovlivnění silným magnetickým polem. Všechna data získaná z měření průběžně ukládají do paměti a jsou k dispozici pro dálkový odečet z centrály. Dálkový odečet přináší úsporu pro distributora a omezení zásahů do pohodlí a komfortu zákazníka.

[ 8 ]



Obr. č. 1.10 – Příklady klasického a chytrého elektroměru

[ 8 ]

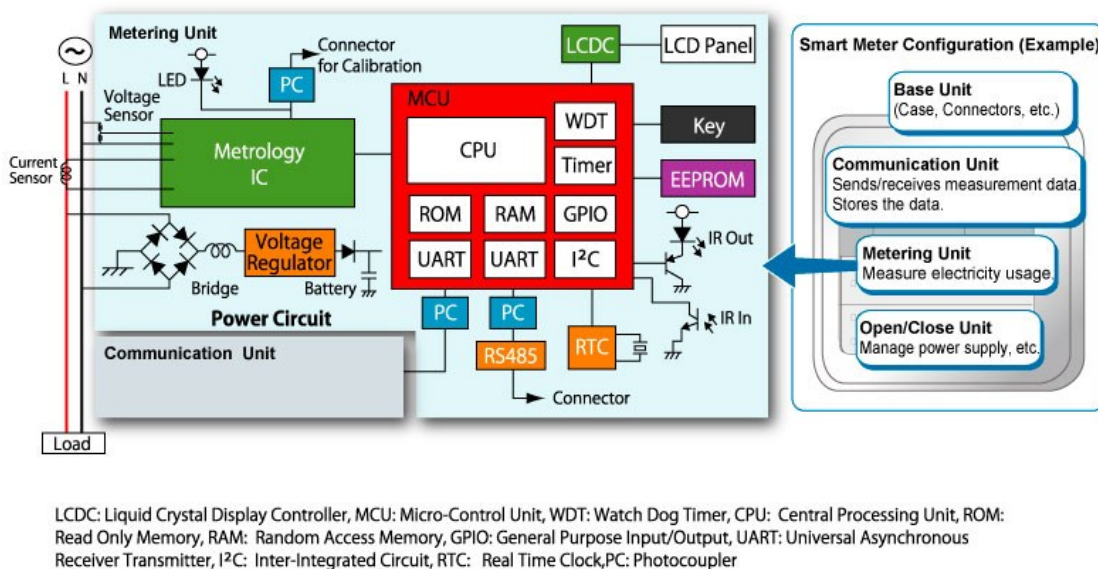


## Blokové schéma Smart metru

Obecně platí, že inteligentní měřič se skládá ze tří jednotek: jednotky proměření, komunikační jednotky a jednotky pro otevření/zavření (viz obrázek č. 1. 11). Měřicí jednotka sleduje spotřebu zákazníka a proces účtování. Komunikační jednotka umožňuje obousměrnou digitální komunikaci s energetickou společností - vysílá a přijímá data a příkazy. Jednotka pro otevření / zavření zajišťuje, že přístroj spustí a vypne napájení.

Měřicí jednotka se skládá z:

- měřicí části, která měří proud a napětí;
- mikrokontroleru, který vypočítává spotřebu energie a údaje o účtování na základě těchto měření;
- zobrazovací sekce, která zobrazuje stav a další informace;
- paměti EEPROM, do které se ukládají fakturační údaje.



Obr. č. 1.11 – Blokové schéma smart metru (zde je jednofázové, dvou vodičové provedení)

[ 14 ]

## 1.11 Sběr dat v chytré síti

Sběr dat ze sítě zajišťují měřidla a koncentrátoři. Komunikaci mezi nimi řídí datová centrála, která je přímo spojená s koncentrátoři (obr. č. 1.12). Koncentrátor je zařízení, ke kterému se dálkově připojí podřízená měřidla (je to ekonomičtější, než připojovat každé měřidlo zvlášť).

[ 13 ]

## Datová centrála

Tvoří ji informační systémem, který řídí odečty, validaci a úpravu změřených dat. Centrála monitoruje, udržuje a řídí síť měřidel a koncentrátorů. Získaná data předává dalším IT systémům. Datová centrála patří distributorovi, ten data využívá a poskytuje je dalším oprávněným účastníkům trhu. Datová centrála je systém sloužící pro zpracování velkého objemu dat.

[ 13 ]

## Rozhraní pro přenos dat z elektroměrů

### Power Line Communication (PLC)

Slovy Power Line Communication se označuje přenos dat po elektrické síti. V sítích ČR se používá pro hromadné dálkové ovládání (HDO), které slouží k regulaci odběru elektrické energie pro potlačování špiček v odběrovém diagramu. Nevýhodou přenosu dat po elektrické síti je skutečnost, že při zvyšující se frekvenci sice roste objem přenášených dat, ale současně se zmenšuje přenosová vzdálenost. Pro přenos dat z měření je však vzdálenost dostačující, protože se nejedná o velké množství dat.

### Radio Frequency (RF)

Radio Frequency – bezdrátová komunikace na rádiové frekvenci. Většina aplikací přenosu dat z měření je na volném pásmu, takže v případě Smart Metering není nutné žádat o přidělení frekvenčního pásma. Radiová komunikace se v ČR jeví jako nejvhodnější řešení pro společné měření.

[ 13 ]



Obr. č. 1.12 – Celky technologie Smart Metering

[ 13 ]

## 1.12 Přínosy a nedostatky Smart Meteringu

### Přínos pro běžného zákazníka

- zajištění vyšší spolehlivosti dodávky;
- motivace ke zvýšení hospodárnosti při spotřebě;
- návaznost na Smart Home, tj. automatického řízení spotřebičů v domácnosti;
- pravidelné poskytování informací o aktuální spotřebě;
- zákazník v systému Smart Metering bude mít k dispozici informaci o spotřebě všech médií (elektrina, voda, plyn, teplo), následně úpravou spotřeby v čase dosáhne lepší ceny. Cena elektrické energie je závislá na aktuální zátěži sítě. Využití dynamických tarifů pak zajistí vyrovnanější a efektivnější vytížení elektráren a snížení špičkové zátěže. Pokud zákazník upraví svou spotřebu v čase, dosáhne i lepší ceny.

[ 13 ]

### Přínos pro distributora

- snížení nákladů spojených s fyzickým odečítáním, s vyřizováním dotazů zákazníků a reklamací;
- import dat do informačního systému distributora energie k dalšímu zpracování a využití;
- detailní hlášení a on-line statistiky o momentální spotřebě, výpadech dodávek energií, možnost efektivněji plánovat.

### Nevýhody

- zavádění Smart Meteringu je dlouhodobý proces;
- větší finanční náročnost na technické vybavení.

[ 16 ]

## 1.13 Legislativa

O zavedení „inteligentních“ měřidel elektřiny, ale i tepla, plynu a vody u spotřebitelů pojednává směrnice Evropského parlamentu a Rady o společných pravidlech pro vnitřní trh s elektřinou č. 2009/72/ES. Od „inteligentních“ měřidel se očekává, že mají potenciál zvýšit energetickou efektivnost na straně koncových zákazníků a tím přispět k naplňování strategických cílů EU do roku 2020. Klíčem k tomu má být schopnost těchto prostředků tzv. „Smart Metering“ techniky poskytovat konečným zákazníkům včetně maloodběratelů zpětnou informaci o jejich spotřebě. Zavedení Smart Metering je podmíněno posouzením všech nákladů a přínosů a proveditelnosti. Pokud se zavedení těchto měřících systémů ukáže jako pozitivní, pak musí být těmito systémy vybaveno 80 % spotřebitelů do roku 2020.

[ 15, 17 ]

## 2 Ostrovní systémy pro napájení rodinného domu

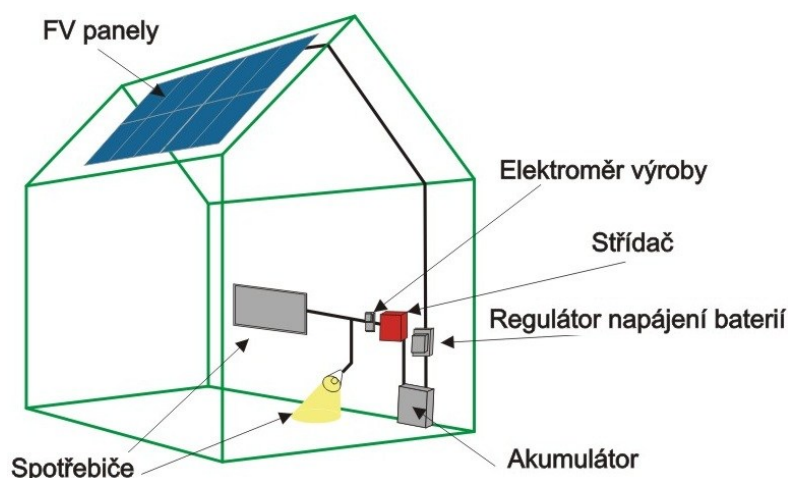
Ostrovní systémy by se daly přirovnat k chytrým sítím. Stejně jako chytré sítě musí zajišťovat stabilní dodávku elektrické energie k pokrytí spotřeby. Zajišťují akumulaci energie, která není spotřebována současně s výrobou. Moderní ostrovní systémy jsou vybaveny řídicím systémem, který monitoruje výrobu a spotřebu, přebytek energie pak dodává do akumulátorů. Naakumulovaný přebytek pak využívá v době, kdy je spotřeba větší než výroba. Řídicí systémem taky může spouštět náhradní zdroje energie při nedostatečné výrobě z obnovitelných zdrojů energie. Tyto řídicí systémy mohou být tvořeny z programovatelných logických automatů, nebo jsou již integrovány v záložních zařízeních určených pro ostrovní systémy. Dalším podobnou vlastností ostrovního systému s chytrou sítí je možnost řízení části spotřeby. V některých ostrovních systémech se při nedostatku vyrobené energie blokuje část spotřebičů, nebo při nadbytku výroby spouští náhradní zátěž.

### Hybridní ostrovní systémy

Používají se hlavně tam, kde je nutný celoroční provoz a tam, kde je občas využíváno zařízení s vysokým příkonem. Tyto systémy jsou oproti klasickému ostrovnímu systému s jedním fotovoltaickým zdrojem elektřiny a akumulací rozšířené o doplňkový zdroj elektřiny - elektrocentrálu, nebo kogenerační jednotku.

[ 37 ]

Ostrovní systém pro rodinný dům by měl zajišťovat dodávku elektřiny pro potřeby provozu domu po celý rok. Mělo by tedy jít o systémy s akumulací elektrické energie. Pro výrobu elektrické energie se dají použít obnovitelné i neobnovitelné zdroje energie (např. fotovoltaická, větrná i vodní elektrárna, kogenerační jednotka, diesel generátor, atd). Zdroje je vhodné kombinovat tak, aby se jejich profil výroby doplňoval. Nejčastěji používanými zdroji pro ostrovní systémy jsou malé fotovoltaické elektrárny (viz obr. č. 2.1), ty bývají často doplněné o dieselgenerátory, které dorovnávají nedostatek výroby z fotovoltaiky.



Obr. č. 2.1 – Schéma zapojení FV elektrárny určené pro ostrovní systém

[ 38 ]

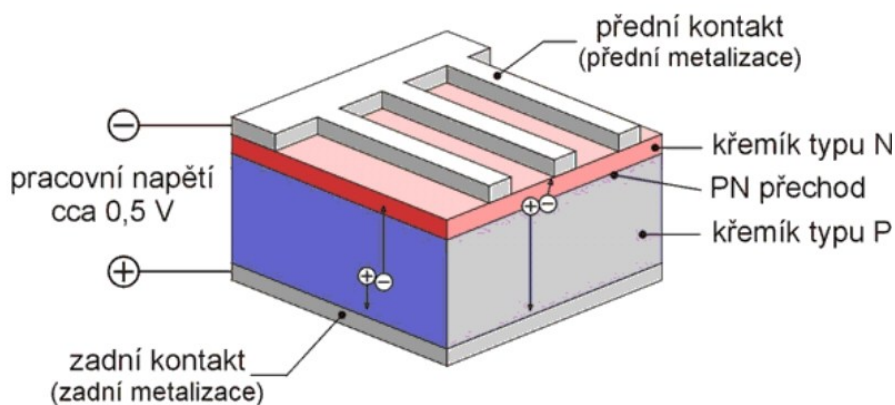
Pro vytváření napájecích systémů nezávislých na dodávkách elektriny z veřejné distribuční sítě může být hned několik důvodů:

- nedostupnost distribuční sítě;
- nespolehlivost dodávky v dané lokalitě (časté výpadky, nestabilní napětí v místě připojení k síti);
- snaha o nezávislost.

## 2.1 Fotovoltaické systémy pro napájení rodinného domu

Fotovoltaická elektrárna je jedním z nejznámějších obnovitelných zdrojů energie. Dnešní fotovoltaické panely používané pro tyto elektrárny dokážou pomocí fotoelektrického jevu přetvářet přímé i nepřímé sluneční záření na stejnosměrný elektrický proud. Při dopadu slunečního záření na dotovaný polovodič solárního článku dochází k uvolňování elektrických nosičů nábojů, které jsou prostřednictvím kovových kontaktů odváděny. V současné době jsou pro malé střešní elektrárny nejčastěji využívány polykrystalické křemíkové panely, které mají vyšší účinnost při přeměně nepřímého (difúzního) záření než monokrystalické články. Polykrystalické články mají stabilnější výnos. Jsou tedy vhodné pro ostrovní systémy. Vyrobený stejnosměrný proud je možno ihned využívat pro přímé napájení, nebo akumulovat. Pro přeměnu stejnosměrného proudu na střídavý se používají střídače, které se dokážou přizpůsobit síťovému napětí a frekvenci. Vyrobenou energii je tak možno dodávat do veřejné distribuční sítě.

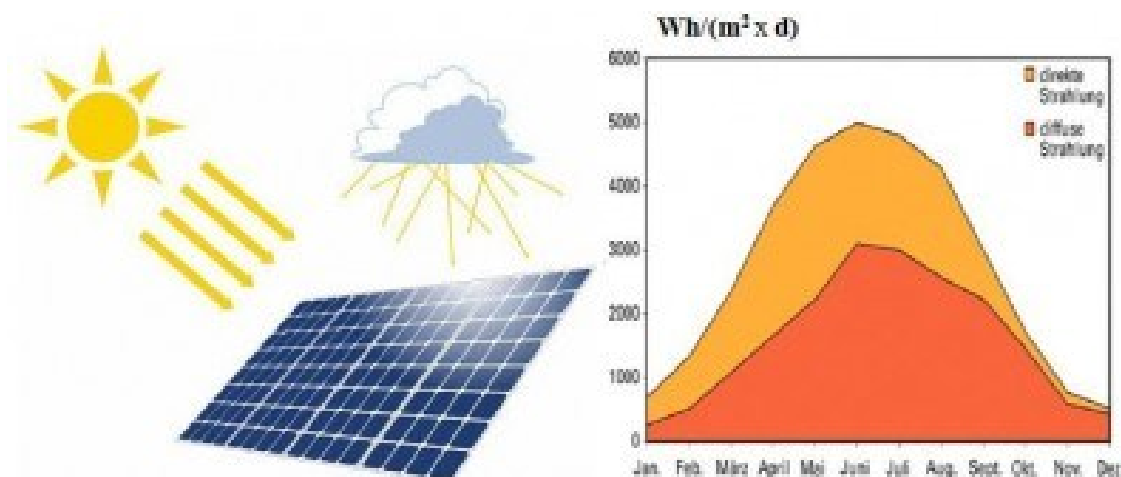
[ 1, 2, 38 ]



Obr. č. 2.2 – Řez polovodičem fotovoltaického článku

[ 38 ]

Velikost celkového výnosu z fotovoltaické elektrárny je ovlivněna nejen účinností panelů, ale i polohou elektrárny, jejím zastíněním, sklonem a natočením panelů. Aktuální výkon fotovoltaické elektrárny je ovlivněn množstvím dopadajícího světla, které se v průběhu dne i v průběhu roku mění (viz obr. č. 2.3). Na množství dopadajícího světla má vliv i aktuální oblačnost (viz obr. č. 2.4).



Obr. č. 2.3 – Podíl přímého a difuzního záření v průběhu roku

[ 38 ]



Obr. č. 2.4– Vliv oblačnosti na množství dopadajícího záření

[ 39 ]

#### Vliv zastínění na účinnost systému:

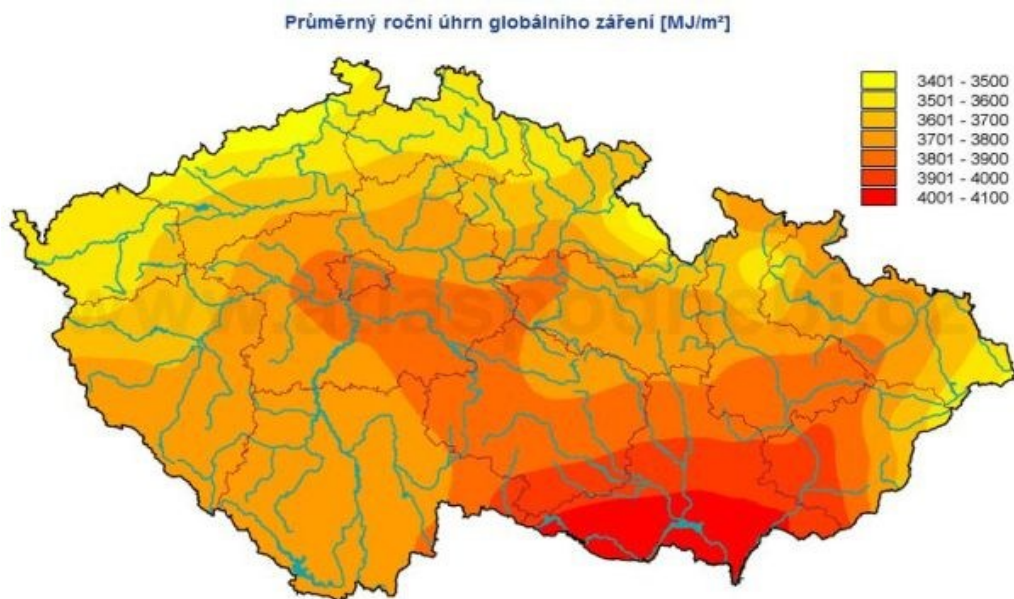
Výnosy z fotovoltaické elektrárny značně ovlivní i nepatrné zastínění. Je to dáno hlavně fyzikální podstatou funkce FV článku. Při zastínění byť jen jednoho článku na fotovoltaickém panelu, se tento článek chová jako odpor a brzdí tok elektrické energie ve všech článcích panelu, případně panelech spojených v jedné větvi (zapojeným v sérii). Je velmi důležité vyhnout se i nepatrnému zastínění jak jen to jde.

[ 1, 38 ]

#### Vliv polohy na účinnost systému:

Na výnos elektrárny má značný vliv i její poloha, protože roční úhrn slunečního záření je závislý na poloze. Na obrázku č. 2.5 je zakreslen průměrný roční úhrn na územích v České republice.





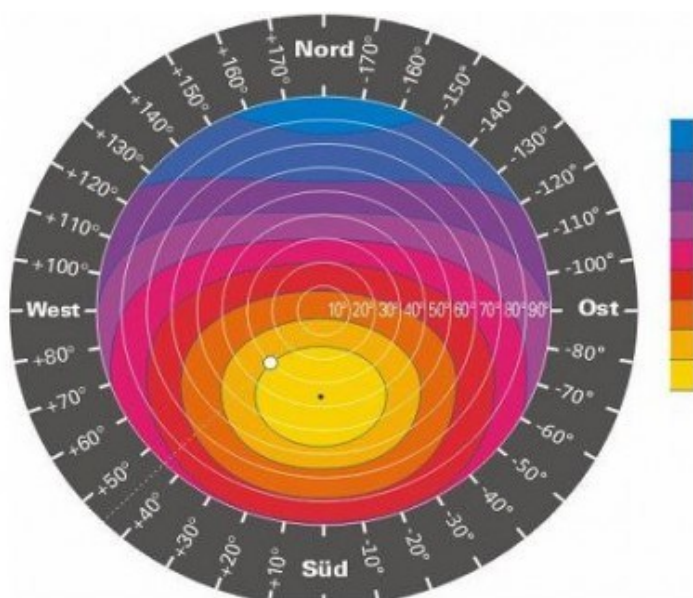
Obr. č. 2.5 – Průměrný roční úhrn globálního záření

[ 38 ]

#### Vliv orientace na účinnost systému:

Umístění fotovoltaické elektrárny má velký vliv na množství dopadajícího záření na panel a tedy i na množství vyrobené energie. Nejvyšší výnos v podmínkách České republiky je při sklonu cca 35 stupňů a orientaci přímo k jihu (viz obr. č. 2.6).

[ 38 ]



Obr. č. 2.6 – Diagram vlivu sklonu a orientace fotovoltaických panelů na energetický výnos

[ 38 ]

## 2.2 Akumulátory pro ostrovní systémy

Ke skladování elektrické energie, která se současně s výrobou nespotřebuje, jsou vhodné akumulátory s dlouhou dobou nabíjení a vybíjení. Klasické autobaterie se pro tento účel moc nehodí. Tyto baterie jsou konstruovány na vysoký proud po krátkou dobu, a proto při použití v ostrovních systémech mají kratší životnost. U zdrojů pro ostrovní systémy očekáváme spíše konstantní proud po delší dobu.

### Požadavky na vlastnosti akumulátorů:

- vysokou akumulační schopnost elektrické energie
- vysoký počet pracovních cyklů (dlouhá životnost)
- vyšší odolnost proti hlubokému vybití
- nízký minimální nabíjecí proud
- nízké samovybíjení (menší ztráty)
- odolnost proti nestálosti nabíjecích podmínek
- minimální nároky na údržbu (finanční i časová úspora)
- minimum emisí plynů při nabíjení

Pro ostrovní systémy se v současnosti využívají akumulátory s elektrolytem ve formě gelu nebo klasické olověné s tekutým elektrolytem. Gelové akumulátory jsou odolnější proti poškození při překlopení.

### Dimenzování kapacity akumulátorového souboru

Kapacita by měla být alespoň o 20% vyšší, než kapacita, která je nutná pro bezproblémový provoz. Tato kapacitní rezerva akumulátorů prodlužuje jejich životnost, protože nedochází k jejich úplnému vybití. Je vhodné respektovat i stárnutí baterií, proto se celková kapacita navyšuje o dalších 30%.

[ 18 ]

Výsledná kapacita se tedy vypočítá ze vztahu:

$$C_B = \frac{E_Z \cdot k}{V_B \cdot DOD_{MAX} \cdot T_{CF} \cdot \eta_B} \quad (A \cdot h) \quad (1)$$

kde  $E_Z$  je energie potřebná pro bezproblémový chod (včetně ztrát v systému);  
 $k$  – koeficient respektující stárnutí baterií (přibližně 1,3);  
 $V_B$  – napětí baterie;  
 $T_{CF}$  – teplotní korekční faktor (můžeme zvolit 1 pro ostrovní systémy);  
 $\eta_B$  – účinnost baterií (pohybuje se v rozmezí 0,7-0,85);



$DOD_{MAX}$  – hloubka vybití baterie.

[ 19 ]

Pokud je nutné akumulátory pospojovat do jednoho souboru, tak by měli být stejného typu a taky stáří (stejně vlastnosti i kapacita), taky by měli mít stejný stupeň vybití. Při sériovém spojení se sčítá jejich napětí a při paralelním řazení se sčítá jejich kapacita.

[ 18 ]

## 2.3 Regulátory pro ostrovní systémy

### **Regulátor má tyto funkce:**

Regulátor v ostrovních systémech slouží k ochraně akumulátorů proti přebíjení a taky jejich hlubokému vybití. Zapojuje se do série se zdrojem a akumulátorem. Měří stupeň nabití akumulátorů a v případě potřeby od něj zdroj odpojí (při poklesu napětí na akumulátorech opět zdroj připojí).

### **Volba vhodného regulátoru dobíjení**

Regulátor je potřeba zvolit podle:

- pracovního napětí v systému,
- proudového výkonu zdroje,
- typu akumulátorů a nároků na teplotní pracovní podmínky,
- podle celkového příkonu elektrospotřebičů.

[ 18 ]

## 2.4 Vytápění objektů, trendy

Moderní zdroje tepla pro vytápění objektů a tepelnou úpravu vody se vyznačují vysokou účinností. Častěji se prosazuje využívání energeticky obnovitelných zdrojů a zdrojů tepla s nízkou uhlíkovou stopou (např. zemní plyn). Moderní otopné soustavy bývají pružné, s inteligentními řídicími i regulačními systémy a mají minimalizované ztráty v rozvodech tepelné soustavy. Tím roste jejich celková účinnost. Větší účinnost soustavy sníží náklady na energii pro vytápění a ohřev vody. Moderní zdroje tepla jsou konstruovány pro vysoký stupeň využití energie obsažené v palivu a co nejnižší stupeň znečištění ovzduší.

[ 20 ]

## 2.5 Výroba elektřiny a vytápění kogenerační jednotkou

Kogenerační jednotka je tvořena generátorem na výrobu elektřiny, který je poháněn spalovacím motorem nebo spalovací turbínou. Odpadní teplo, které vzniká při spalování, se pak využívá k vytápění, ohřevu užitkové vody nebo k jiným účelům. Odpadní teplo se získává ze spalin, ohřáté chladicí kapaliny a oleje motoru.

[ 21 ]

Velkou výhodou kogenerace je vysoká efektivita využití paliva (přes 90 %) oproti oddělené výrobě a distribuci tepla a elektřiny (40% účinnost), to se projevuje snížením spotřeby paliva a tím i snížením emisí škodlivých látek-spalin. Kombinovanou výrobou, se ušetří v průměru 35 % energie obsažené v palivu. Efektivním využitím obou forem energie docílíme nejvyššího účinku z kombinované výroby tepla a elektřiny. Při vlastní spotřebě tepla a elektřiny v místě výroby kogenerační jednotky vznikají úspory snížením přenosových ztrát obou energií. Ideální využití kogenerační jednotky dochází v případě, že teplo a elektřina jsou požadovány ve stejném čase a v odpovídajícím poměru. Pokud toto ideální využití obou energií nejde realizovat, tak má jedna z energií primární a druhá sekundární úlohu (častější případ). Pokud zařízení splňuje státem stanovené subvence a podpory, je možnost přebytek vyrobené elektrické energie prodávat do sítě a tím zkrátit návratnost poměrně vysoké počáteční investice.

[ 21, 22 ]

### Hlavní zásady při návrhu kogeneračních jednotek

- musí se zpracovat měsíční a roční odběrové diagramy tepla a elektrické energie, nebo stávající instalovaný výkon kotlů a jejich teplotní a tlakové parametry,
- zvážit, zda požadovaný výkon bude dodáván jedním větším, nebo více agregáty s nižším výkonem,
- posoudit, bude-li elektrická energie spotřebována pouze uživatelem nebo bude dodávána do veřejné rozvodné sítě,
- zpracovat bilanci vstupních a výstupních hlavních energetických toků,
- znát dostupnost paliva,
- provést důkladnou analýzu ceny používaného paliva.

[ 23,27 ]

### Legislativa

Energetický zákon umožňuje prodávat jak vyrobené teplo, tak i elektřinu vyrobenou kogenerační jednotkou. Splnit technické požadavky správce tepelné sítě je však v praxi obtížné. Proto se kogenerační jednotky navrhují většinou tak, aby veškeré teplo spotřebovával výrobce. Přebytky elektřiny se pak můžou dodávat do sítě, nebo akumulovat pro pozdější využití. Pokud chceme elektřinu, nebo i teplo prodávat, musíme od Energetického regulačního úřadu získat licenci pro podnikání v energetice. Komerčně dostupné kogenerační jednotky splňují potřebné bezpečnostní a emisní parametry.

[ 28 ]

**Základní technické údaje kogeneračních jednotek:**

– jmenovitý tepelný výkon	(kW)
– elektrický výkon	(kW)
– tepelná účinnost	(%)
– elektrická účinnost	(%)
– celková účinnost	(%)
– spotřeba plynu	(kW/h)
– jmenovité napětí	(V)
– jmenovitá frekvence	(Hz)

## 2.6 Potřeba tepla pro vytápění

Potřeba tepla je závislá na tepelně-izolačních vlastnostech objektu a na intenzitě větrání, proto se při výpočtu vychází z tepelné ztráty domu. Výpočet potřeby tepla na vytápění přes denostupně vychází z dlouhodobých sledování délky otopných období v ČR.

[ 30 ]

**Postup výpočtu tepelných ztrát ( $Q_C$ )**

Jako podklad pro návrh výkonu zdroje tepla pro vytápění a ostatních prvků otopné soustavy je nutné provést výpočet tepelných ztrát (základní normy jsou ČSN EN 12831 a ČSN 06 0210).

Tepelné ztráty se skládají ze ztrát prostupem tepla obvodovými konstrukcemi a ztrát způsobených větráním. Postup výpočtu (podle ČSN EN 832) je následující:

Nejprve se určí ztráty prostupem tepla ( $H_T$ ), ty zahrnují: prostup tepla mezi interiérem a exteriérem ( $L_D$ ), prostup tepla nevytápěnými prostory ( $H_U$ ), prostup tepla zeminou a suterénem ( $L_S$ ), vliv tepelných mostů.

Dále se určí ztráty tepla větráním ( $H_V$ ), ty se liší podle toho, zda jde o přirozené větrání, nucené větrání nebo nucené větrání se zpětným získáváním tepla.

**Celková měrná tepelná ztráta objektu ( $H_C$ )** se vypočítá ze vztahu:

$$H_C = H_T + H_V = (L_D + L_S + H_U) + H_V \quad (\text{W} \cdot \text{K}^{-1}) \quad (2)$$

Tepelná ztráta ( $Q_C$ ) v kW je dána součinem celkové měrné tepelné ztráty a teplotního rozdílu mezi interiérem ( $\Theta_i$ ) a exteriérem ( $\Theta_e$ ). Podle této ztráty se navrhuje výkon tepelného zdroje, tj. maximální potřebný příkon tepla objektu při výpočtové venkovní teplotě v zimním období v dané lokalitě.

**Tepelná ztráta je dána vztahem:**

$$Q_C = H_C \cdot (\Theta_i - \Theta_e) \quad (\text{kW}) \quad (3)$$

Detailním výpočtem tepelných ztrát objektu se zabývají specializované společnosti, na které je nutné se v případě potřeby obrátit.

[ 29 ]

**Vytápěcí denostupně:**

$$D = d \cdot (t_{is} - t_{es}) \quad (\text{K} \cdot \text{dny}) \quad (4)$$

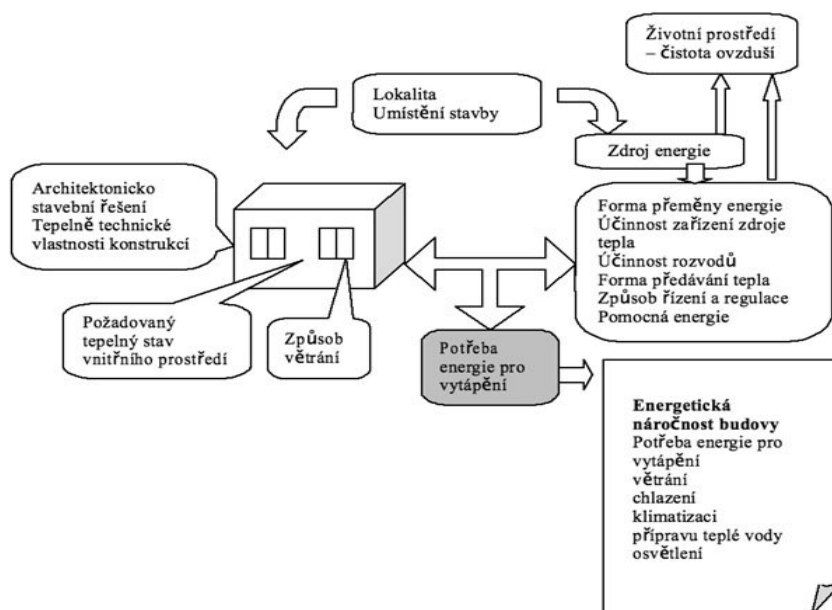
kde  $d$  je délka topného období (určuje se podle lokality z tabulky v příloze);  
 $t_{is}$  – průměrná vnitřní výpočtová teplota (pro obytné budovy 18,2 °C až 19,1 °C);  
 $t_{es}$  – průměrná teplota během otopného období pro danou lokalitu (určuje se podle lokality z tabulky v příloze).

**Roční potřeba tepla pro vytápění je dána vztahem:**

$$Q_{\text{VYT},r} = \frac{\varepsilon}{\eta_o \cdot \eta_r} \cdot \frac{24 \cdot Q_c \cdot D}{(t_{is} - t_e)} \quad (\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (5)$$

kde  $\varepsilon$  je opravný součinitel  $\varepsilon$  (zpravidla  $\varepsilon = 0,85$ );  
 $Q_c$  – tepelná ztráta objektu (je dána konstrukcí domu a větráním objektu)  
 $\eta_o$  – účinnost obsluhy resp. možnosti regulace soustavy (volí se v rozmezí 0.9 až po 1.0);  
 $\eta_r$  – účinnost rozvodu vytápění (volí se v rozmezí 0.95 až 0.98 podle provedení);  
 $t_e$  – venkovní výpočtová teplota (určuje se podle lokality z tabulky v příloze).

[ 24 ]



Obr. č. 2.7 – Potřeba energie na vytápění a související faktory

## Rozložení potřeby tepla pro vytápění

Časové rozložení roční potřeby tepla na vytápění pro jednotlivé měsíce se dá určit z údajů z tabulky č. 2.1.

**Celková měsíční potřeba energie pro vytápění:**

$$Q_{\text{VYT},m} = Q_{\text{VYT},r} \cdot \phi_{\text{VYT},m} \quad (\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (6)$$

Tab. č. 2.1 – Procentuální rozdělení potřeby tepla na vytápění podle měsíčních průměrů klimatické náročnosti podle vyhlášky č. 372/2001 Sb.

	$\phi_{\text{VYT},m}$	$\phi_{\text{VYT},m}$
Měsíc	-	%
leden	0,19	19
únor	0,16	16
březen	0,14	14
duben	0,09	9
květen	0,02	2
červen	0	0
červenec	0	0
srpen	0	0
září	0,01	1
říjen	0,08	8
listopad	0,14	14
prosinec	0,17	17

## 2.7 Potřeba tepla pro ohřev teplé vody

Skutečná potřeba teplé vody je závislá na zvyklostech lidí a jejich životním stylu. Na rozdíl od potřeby tepla na vytápění je odhad skutečného množství tepla potřebného pro tepelnou úpravu vody nejistý. Norma ČSN 06 0320 počítá u staveb pro bydlení se spotřebou 0,082 m<sup>3</sup> teplé vody na 1 osobu na den.

**Denní potřeba tepla pro ohřev teplé vody je dána vztahem:**

$$Q_{\text{TUV,d}} = (1 + z) \cdot \frac{\rho \cdot c \cdot V_{2p} \cdot (t_2 - t_1)}{3600000} \quad (\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (7)$$

kde	$t_1$	je	teplota studené vody;
	$t_2$	–	teplota ohřáté vody;
	$V_{2p}$	–	celková potřeba teplé vody za 1 den (pro bydlení uvažujeme 0.082 m <sup>3</sup> na osobu a den, minimálně však 0.2 m <sup>3</sup> na byt a den.);
	$z$	–	koefficient energetických ztrát systému pro přípravu teplé vody (pro běžné stavby uvažujeme hodnotou 50 % až 100 % podle provedení rozvodu a doby cirkulace);
	$\rho$	–	měrná hmotnost vody (1000 kg·m <sup>-3</sup> );
	$c$	–	měrná tepelná kapacita vody (4186 J·kg <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ).

**Roční potřeba tepla pro ohřev teplé vody je dána vztahem:**

$$Q_{\text{TUV,r}} = Q_{\text{TUV,d}} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{\text{TUV,d}} \cdot \frac{t_2 - t_{\text{svl}}}{t_2 - t_{\text{svz}}} \cdot (N - d) \quad (\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (8)$$

kde	$t_{\text{svl}}$	je	teplota studené vody v létě;
	$t_{\text{svz}}$	–	teplota studené vody v zimě;
	$N$	–	počet pracovních dní soustavy v roce;
	$d$	–	délka topného období (určuje se podle lokality z tabulky v příloze).

[ 24 ]

## Rozložení potřeby teplé vody

Spotřeba teplé vody v domácnostech se v průběhu roku mění. V zimních měsících je spotřeba vyšší než v měsících letních, to je způsobeno odlišným chováním uživatelů v různém období. Například letní 20 až 25 procentní pokles potřeby teplé vody oproti ročnímu průměru a tedy i tepla na přípravu teplé vody je způsoben: vyšší teplotou studené vody v letním období, vlivem školních prázdnin a dovolených uživatelů a taky třeba tím, že v letním období převažuje osvěžující sprchování, v zimním období spíše „horká vana“. Časové rozložení roční spotřeby teplé vody na jednotlivé měsíce se dá určit z tabulky č. 2.2.

**Celková měsíční potřeba energie pro ohřev teplé vody:**

$$Q_{\text{TUV,m}} = Q_{\text{TUV,r}} \cdot \varphi_{\text{TUV,m}} \quad (\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (9)$$

Tab. č. 2.2 – Časové rozložení roční spotřeby teplé vody

Měsíc	$\varphi_{TUV,m}$	$\varphi_{TUV,m}$
	-	%
leden	0,092	9,2
únor	0,083	8,3
březen	0,091	9,1
duben	0,084	8,4
květen	0,083	8,3
červen	0,079	7,9
červenec	0,071	7,1
srpen	0,071	7,1
září	0,075	7,5
říjen	0,086	8,6
listopad	0,089	8,9
prosinec	0,096	9,6

[ 26 ]

## 2.8 Celková měsíční potřeba energie na vytápění a ohřev teplé vody

Potřeba tepla je o něco menší než skutečná spotřeba. Potřeba je to, co potřebujeme, abychom dům vytopili a zajistili ohřev vody, kdežto spotřeba je to, co spotřebujeme zdroj vytápění. Spotřeba je ovlivněna účinností zdroje vytápění, dále pak účinností rozvodů, regulace a také schopností reagovat a využít tepelné zisky. Množství tepla, které z budovy unikne, závisí na rozdílu mezi vnitřní a vnější teplotou a na době, po kterou topné období trvá.

**Celková měsíční potřeba energie na vytápění a ohřev teplé vody je dána vztahem:**

$$Q_m = Q_{VYT,m} + Q_{TUV,m} \quad (\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (10)$$

[ 30 ]

### 3 Návrh ostrovního systému

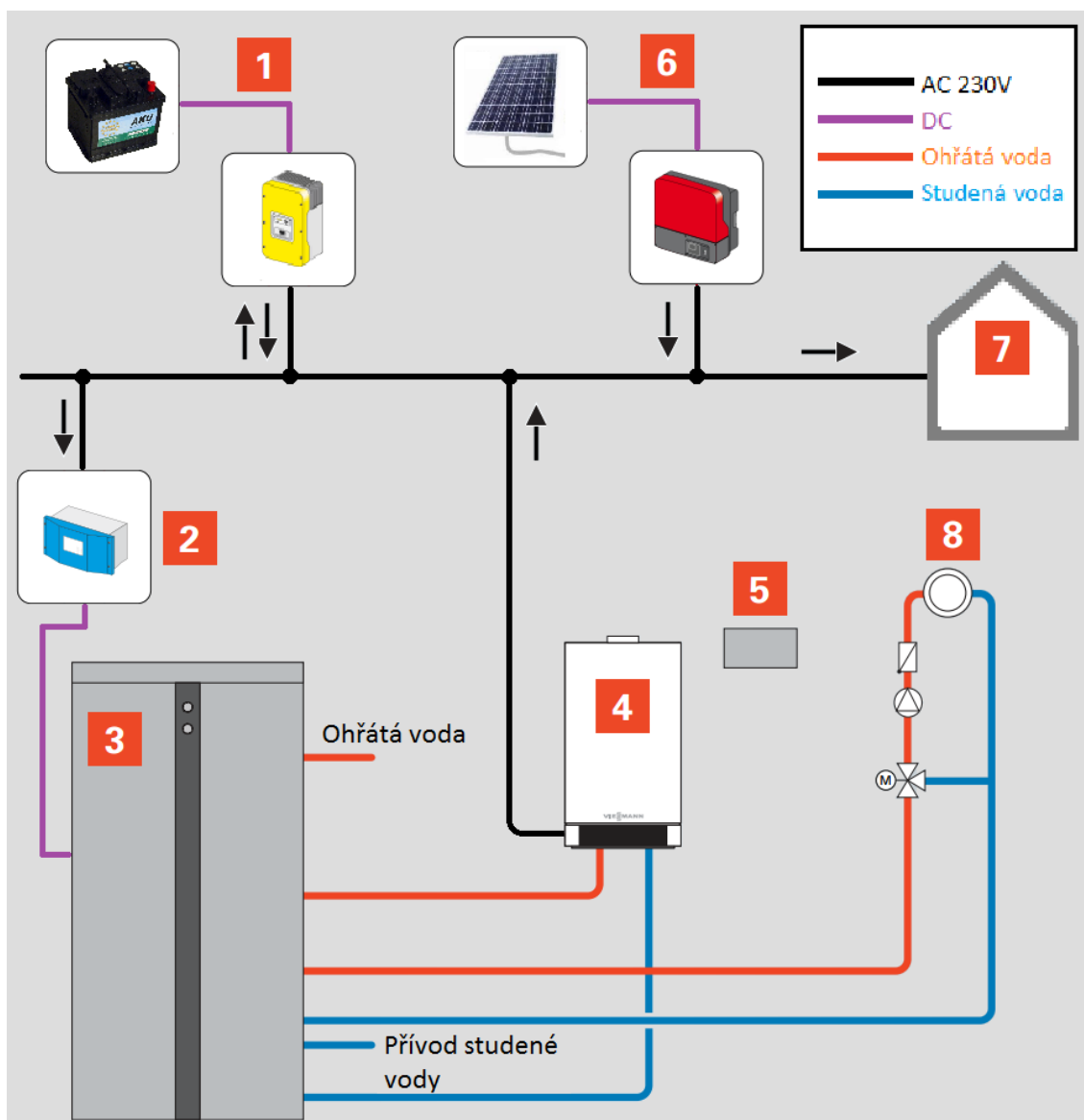
Navrhovaný systém zajišťuje dodávky tepla a elektřiny pro rodinný dům. Dodávky tepla odpovídají potřebám pro vytápění a ohřev teplé vody. Systém využívá jako zdroj tepla mikrokogenerační jednotku na zemní plyn napojenou na akumulární nádrž. Tato jednotka vyrábí současně teplo i elektřinu. Druhým zdrojem elektrické energie pro pokrytí potřeb rodinného domu je malá fotovoltaická elektrárna. Navrhovaný systém je šetrný k životnímu prostředí. Využívá veškerou vyrobenou energii z obnovitelného zdroje a efektivně využívá energii paliva z druhého neobnovitelného zdroje.

#### 3.1 Popis systému

Kogenerační jednotka se chová z hlediska dodávky elektrické energie do ostrovního systému jako neregulovaný zdroj. Velikost dodávky elektřiny kogenerační jednotkou je ovlivňována potřebami tepla pro vytápění, tedy aktuálním počasím. Proto jsem jako druhý zdroj vybral právě malou fotovoltaickou elektrárnu. Její profil výroby elektřiny vhodně doplňuje rozdíly v dodávce mikrokogenerační jednotkou. Fotovoltaická elektrárna dodává nejvíce energie v létě ve dnech s jasnou oblohou. V těchto dnech mikrokogenerační jednotka slouží jen pro ohřev teplé vody a proto vyrábí málo elektřiny. V oblačné dny v zimním období je tomu právě naopak. Dodávky z elektřiny z kogenerační výroby jsou maximální a fotovoltaická elektrárna dodává minimální výkon.

Systém je navržen tak, aby průměrná výroba elektrické energie byla o něco větší, než spotřeba rodinného domu. To spolu se záložním systémem pro akumulaci elektřiny zajišťuje spolehlivost dodávky elektřiny pro potřeby domu a jeho využití. Přebytná elektrická energie z obou zdrojů se pak dále využívá. Jen část energie vyráběné těmito zdroji se současně i spotřebuje. Přebytky výroby elektřiny z obou zdrojů ukládá záložní systém do akumulátoru. V době kdy je spotřeba elektrické energie větší než výroba, záložní systém zase dodá zbytek energie z akumulátoru. Pokud dojde k plnému nabití akumulátoru, tak záložní systém přesměruje přebytek výroby energie do náhradní zátěže. Tu tvoří topná spirála v akumulární nádrži, která pomáhá pokrývat část potřeby tepla, kterou by jinak musela vyrobit kogenerační jednotka a tím i snížit celkovou spotřebu zemního plynu.





Obr. č. 3.1 – Ostrovní systém s mikrokogenerační jednotkou a fotovoltaickým zdrojem

[ 31,32 ]

Popis obrázku ostrovního systému (z obr. č. 3.1):

- 1 – ostrovní záložní systém Sunny Island s akumulátory;
- 2 – Smart Load systém připojený k topné spirále akumulční nádrže;
- 3 – akumulční nádrž Vitocell 340-M;
- 4 – mikrokogenerační jednotka Vitotwin 300-W;
- 5 – dálkové řízení;
- 6 – fotovoltaická elektrárna se střídačem Sunny Boy;
- 7 – spotřeba elektřiny rodinného domu (hlavní domovní rozvaděč);
- 8 – topný okruh domu.

### 3.2 Popis energetické bilance ostrovního provozu

Celková měsíční potřeba tepla  $Q_m$  je pokryta výrobou z kogenerační jednotky  $Q_{KJ,m}$  a teplem vyrobeným v topné spirále  $Q_{TS,m}$ , která pracuje jako náhradní zátěž ostrovního systému. Topná spirála slouží pro využití přebytku z výroby elektrické energie.

Celková měsíční potřeba tepla  $Q_m$  je tedy dána vztahem:

$$Q_m = Q_{KJ,m} + Q_{TS,m} \quad (\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (11)$$

Celková měsíční výroba tepla topnou spirálou:

$$Q_{TS,m} = Q_{P,m} \cdot \eta_{TS} \quad (\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (12)$$

Celková měsíční výroba elektřiny:

$$E_{C,m} = E_{FVE,m} + E_{KJ,m} \quad (\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (13)$$

Měsíční přebytek elektřiny využitý pro ohřev vody:

$$E_{P,m} = E_{C,m} - E_m = E_{FVE,m} + E_{KJ,m} - E_m \quad (\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (14)$$

Měsíční potřeba výroby elektřiny pro provoz ostrovního systému:

$$E_m = E_{RD,m} \cdot \eta_{OP} \quad (\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (15)$$

Vztahy popisující výrobu tepla a elektřiny pro kogenerační jednotku:

$$Q_{KJ,m} = Q_{G,m} \cdot \eta_{tep} \quad (\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (16)$$

$$E_{KJ,m} = Q_{G,m} \cdot \eta_{el} \quad (\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (17)$$

$$Q_{KJ,m} = E_{KJ,m} \cdot \frac{\eta_{tep}}{\eta_{el}} \quad (\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (18)$$

Odvození měsíční výroby elektřiny kogenerační jednotkou (s použitím vzorců č. 11, 12, 14, 18):

$$\begin{aligned}
 Q_m &= Q_{KJ,m} + Q_{TS,m} \\
 Q_m &= E_{KJ,m} \cdot \frac{\eta_{tep}}{\eta_{el}} + E_{P,m} \cdot \eta_{TS} \\
 Q_m &= E_{KJ,m} \cdot \frac{\eta_{tep}}{\eta_{el}} + (E_{FVE,m} + E_{KJ,m} - E_m) \cdot \eta_{TS} \\
 Q_m &= E_{KJ,m} \cdot \frac{\eta_{tep}}{\eta_{el}} + E_{KJ,m} \cdot \eta_{TS} + (E_{FVE,m} - E_m) \cdot \eta_{TS} \\
 Q_m &= E_{KJ,m} \cdot \left( \frac{\eta_{tep}}{\eta_{el}} + \eta_{TS} \right) + (E_{FVE,m} - E_m) \cdot \eta_{TS} \\
 E_{KJ,m} &= \frac{Q_m - (E_{FVE,m} - E_m) \cdot \eta_{TS}}{\left( \frac{\eta_{tep}}{\eta_{el}} + \eta_{TS} \right)} \quad (\text{kW} \cdot \text{h})
 \end{aligned} \tag{19}$$

### 3.3 Popis komponent ostrovního systému

#### Ostrovní měnič Sunny Island 4248

Sunny Island 4248 vytváří vlastní standardní elektrickou síť střídavého napětí, do které jde připojit všechny typy elektrických spotřebičů na 230 V přiměřeného výkonu. Zajišťuje stabilitu této sítě, monitoruje její stav (výroba, spotřeba, atd.) a neustále udržuje napětí a frekvenci v povoleném rozmezí. Umožňuje taky řízení měničů napětí od stejného výrobce, určených pro obnovitelné zdroje energie. K tomuto ostrovnímu systému jdou připojit tyto typy zdrojů elektrické energie: fotovoltaické systémy, větrné elektrárny, dieselgenerátory, i jiné zdroje s napětím 172,5 V – 250 V a frekvencí 40 Hz – 60 Hz. Pro akumulaci vyráběné energie, která se okamžitě nespotřebovává, umožňuje měnič připojit akumulátor s kapacitou 100 A·h až 6 000 A·h pro napětí 48 V. Při přebytku energie v síti se dobíjí baterie a při nedostatku energie je síť zásobována proudem z těchto baterií. Je to tedy obousměrný ostrovní měnič. Dal by se označit jako kombinovaný měnič s dobíječem baterií. Určuje optimální strategii nabíjení baterií, čímž prodlužuje jejich životnost. Monitoruje přesný stav nabití akumulátoru a jako řídicí prvek celého systému činí i další rozhodnutí.

Sunny Island 4248 má vysokou přetížitelnost, takže si poradí i s rozběhovými proudy spotřebičů. Zajistí po dobu 30 minut výkon 5 400 kW, po dobu 1 minuty 7 000 kW a po dobu 3 sekund dokonce 11 400 kW. Střídač Sunny Island může v případě potřeby dodávat celý svůj jmenovitý výkon v podobě jalového výkonu (induktivní i kapacitní). Díky tomu dokáže

vyrovnávat fázové posuny od  $-90$  stupňů až po  $+90$  stupňů v ostrovní síti, které jsou způsobené induktivními či kapacitními zátěžemi.

#### Důležité parametry:

##### **AC výstup (spotřebič)**

Jmenovité AC napětí (nastavitelné)	230 V (202 V – 253 V)
Jmenovitá AC frekvence (nastavitelná)	50 Hz (45 Hz – 55 Hz)
Trvalý AC výkon při 25 °C / 45 °C	4 200 W / 3 400 W
AC výkon při 25 °C na 30 min / 1 min / 3 s	5 400 W / 7 000 W / 11 400 W

##### **DC vstup (baterie)**

Napětí baterie (rozsah)	48 V (41 V – 63 V)
Max. nabíjecí proud baterie	100 A
Trvalý nabíjecí proud při 25 °C	80 A
Typ baterie	Olovo
Kapacita baterie (rozsah)	100 A·h – 6 000 A·h

##### **Účinnost / vlastní spotřeba**

Max. účinnost	95 %
Vlastní spotřeba bez zatížení	22 W
Pohotovostní režim	4 W

[31 ]

## Fotovoltaická elektrárna

Tvoří ji 16 fotovoltaických panelů Solar World SW 230 poly rozdělených do dvou stringů po 8 panelech připojených k fotovoltaickému střídači. Celkový špičkový výkon této elektrárny je 3,68 kWp. Pro přeměnu vyrobené energie na síťové napětí AC 230 V slouží fotovoltaický střídač Sunny Boy 3000 TL-20. Tento střídač byl vybrán pomocí softwaru Sunny Design 2.20 od výrobce střídačů firmy SMA. Pomocí programu jsem provedl i odhad výroby této elektrárny a zjistil maximální proud fotovoltaické elektrárny  $I_{FVE,max}$ .

### Vyhodnocení návrhu pomocí programu Sunny Design 2.20:

Azimut: 0°, Sklon: 31°, Způsob montáže: Střecha

Špičkový (peak) výkon: 3,68 kWp

Spec. energetický výnos (cca):	1 010 kW·h·kWp <sup>-1</sup>
Roční energetický výnos (cca):	3 715,30 kW·h

Minimální FV napětí:	193 V
Typické FV napětí:	213 V
Maximální FV napětí:	331 V

Max. proud FV generátoru:	15,4 A
---------------------------	--------

### Fotovoltaický střídač Sunny Boy 3000 TL-20

Sunny Boy 3000 TL-20 je vysoce účinný beztransformátorový střídač pro fotovoltaické zdroje. Jeho maximální účinnost je 97 procent, je tedy vhodný pro optimální energetický výnos. Je stavěný pro vnitřní i venkovní použití (krytí IP65). Umožňuje snadnou kontrolu díky možnosti připojení nejrůznějších komponent pro sledování činnosti a údržbu FV systému. Dalšími výhodami jsou: délka jeho životnosti přes 20 let, integrovaná diagnostika a monitoring elektrárny, optimální tvar výstupního proudu, ochrana proti přetížení střídače, možnost připojení do kterékoliv dostupné části energetické sítě, grafický displej, možnost komunikace přes energetický kabel, rádiový přenos nebo přes datový kabel.

#### Důležité parametry:

##### **Vstup (DC)**

Max. DC výkon	3 200 W
Rozsah FV napětí, sledovače MPP	125 V – 440 V
Doporučený rozsah při jmenovitém výkonu	188 V – 440 V
Max. vstupní proud	17 A
Max. počet stringů (paralelně)	2

##### **Účinnost / vlastní spotřeba**

Max. účinnost / Euro-Eta	97,0 %
Vlastní spotřeba (noc)	< 0,5 W

### Výstup (AC)

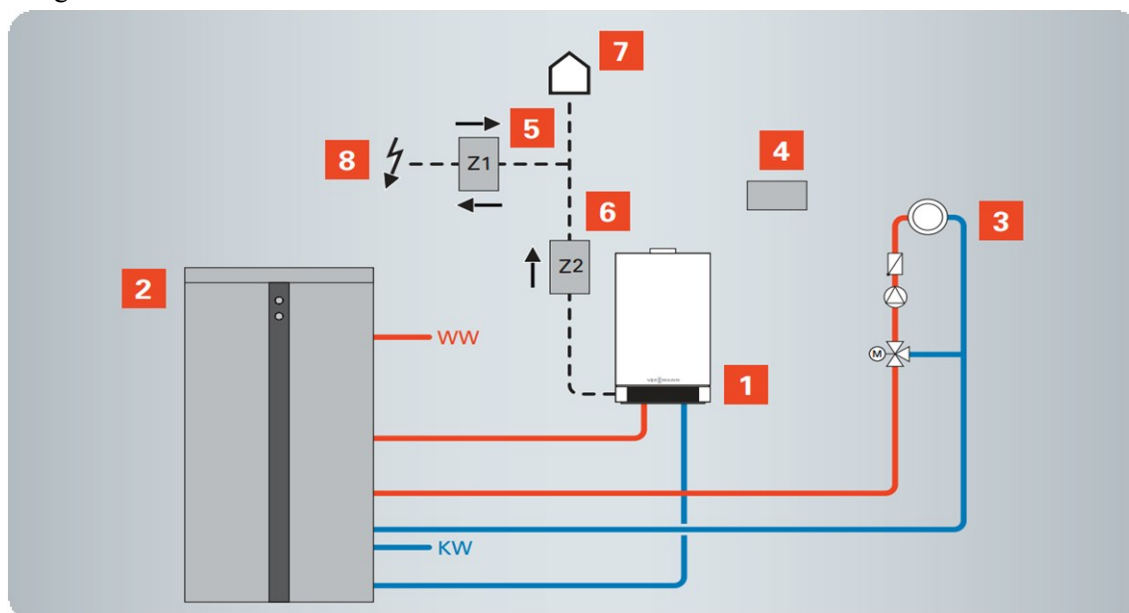
Jmenovitý AC výkon	3 000 W
Max. AC výkon	3 000 W
Max. výstupní proud	16 A
Jmenovité AC napětí / rozsah	220 V – 240 V / 180 V – 280 V
Síťová frekvence AC / rozsah	50 Hz, 60 Hz / $\pm 5$ Hz
Účinník ( $\cos \phi$ )	1
AC připojení	jednofázové

[ 31 ]

### Sestava s mikrokogenerační jednotkou Vitotwin 300-W

- Vitotwin 300-W se Stirlingovým motorem a špičkovacím kotlem Vitodens 200-W
- akumulční nádrž Vitocell 340-M slouží jako zásobník topné vody s integrovaným ohřevem pitné vody

Tato sestava s mikrokogenerační jednotkou by měla pokrývat veškerou spotřebu tepla pro běžný rodinný dům a část spotřeby elektrické. V případě vyšší potřeby tepla dodává chybějící výkon integrovaný plynový kondenzační modul. Sestava je navržena pro snadnou náhradu za stávající plynový kotel, takže náklady na instalaci jsou stejné jako při instalaci běžného plynového kotle. U klasického zapojení se nevyužitá elektrická energie dodává do veřejné sítě. V mém návrhu využívám tuto sestavu pro napájení ostrovního systému, takže nevyužitá vyrobená elektrická energie se ukládá do akumulátorů.



Obr. č. 3.2 – Klasické zapojení sestavy s mikrokogenerační jednotkou Vitotwin 300-W

[ 32 ]

Popis klasického zapojení sestavy (z obrázku č. 3.2):

- 1 – mikrokogenerační jednotka Vitotwin 300-W;
- 2 – kumulační nádrž Vitocell 340-M;
- 3 – topný okruh domu;
- 4 – dálkové řízení;
- 5 – elektroměr výroby kogenerační jednotky;
- 6 – fakturační elektroměr (čtyřkvadrantový);
- 7 – spotřeba elektřiny rodinného domu (hlavní domovní rozvaděč);
- 8 – veřejná elektrická síť.

Důležité parametry:

Jmenovitý tepelný výkon	6 kW
Elektrický výkon	1 kW
Tepelná účinnost	82,29 %
Elektrická účinnost	13,71%
Celková účinnost	96%
Spotřeba plynu	7,292 kW·h <sup>-1</sup>
Jmenovité napětí	230 V
Jmenovitá frekvence	50 Hz

[ 32 ]

## Smart Load 6000 pro střídač Sunny Island

Smart Load 6000 v kombinaci s topným článkem tvoří inteligentní náhradní zátěž pro ostrovní systémy. Je to ideální doplněk pro neregulované generátory elektrické energie. Smart Load identifikuje síťovou frekvenci a podle ní určuje, jestli je k dispozici přebytek energie. Převádí přebytečnou energii na DC výstup určený pro náhradní zátěž. Tato regulace je plně automatická, probíhá velmi rychle a to bez zpětného působení na ostatní spotřebiče. Řízení stejnosměrného výkonu odporové zátěže probíhá v rozsahu 0 V – 230 V. Odporovou zátěží může být třeba topný článek v zásobníku teplé vody. Odpor tohoto článku by měl být v rozsahu 19 Ω - 26 Ω. Pokud bude odpor větší než 26 Ω, tak výstupní výkon bude menší než 6 kW. Topný článek nesmí mít menší odpor než 19 Ω.

#### Důležité parametry:

##### **AC vstup**

Jmenovité vstupní napětí AC	230 V (jednofázově) / 3 x 400 V 230 V se zatížitelným neutrálním vodičem
Rozsah vstupního napětí AC	3 x 180 V – 270 V
Síťová frekvence AC / rozsah	50 Hz, 60 Hz / ±5 Hz

##### **Výstup**

Rozsah napětí DC	3 x 0 V – 230 V
Výstupní výkon na každou fázi (3 / 1 fáze)	3 x 2 kW / 1 x 6 kW
Přípoje pro zatěžovací odpor	3 jednotlivé odpory po 2 kW nebo 1 jednotlivý odpor po 6 kW

[ 33 ]

### **3.4 Náklady na pořízení ostrovního systému**

Tab. č. 3.1 – Náklady na součásti ostrovního systému

Název zařízení	Cena za kus (Kč)	Počet (ks)	Cena (Kč)
Fotovoltaický panel - Solar Word - Standard poly 230	10 900	16	174 400
Střídač FVE - SMA Sunny Boy 3000TL-20	31 976	1	31 976
Záložní systém - SMA Sunny Island 4248	64 900	1	64 900
Kabelové vedení a rozvody	8 000	1	8 000
Kogenerační jednotka - Viessmann - Vitotwin 300-W	320 000	1	320 000
Akumulační baterie - Intact Solar-Power 250 GUG	9 180	12	110 160
Smatr Load 6000	41 535	1	41 535
Celkové náklady (Kč)			750 971

Celkové náklady na pořízení ostrovního systému činí 750 971 Kč.



## 4 Energetická koncepce ostrovního systému

V této části práce uvedu všechny propočty, které jsem dělal při návrhu ostrovního systému. Pro návrh systému se musí nejprve spočítat potřeby elektrické energie a tepla, které bude systém zajišťovat. Zvolím si takový výkon fotovoltaické elektrárny, aby byla schopna pokrýt spotřebu elektřiny v období od května do srpna, provedu odhad její měsíční výroby. Dopočítám měsíční hodnoty výroby elektřiny z kogenerační jednotky podle odvozeného vztahu. Tyto hodnoty využiji při stanovení celkové bilance výroby a spotřeby elektrické energie. Vypočítám celkovou bilanci výroby tepla kogenerační jednotkou a topnou spirálou z přebytků elektřiny. Dále vypočítám velikost energie potřebné k zajištění bezproblémového chodu ostrovního systému a určím potřebnou kapacitu akumulátoru. Spočítám maximální výkon obou zdrojů a určím výkon topné spirály. Nakonec spočítám roční odběr plynu a určím náklady na roční provoz ostrovního systému.

### 4.1 Potřeba elektrické energie pro rodinný dům

Nejprve jsem si určil roční spotřebu energie všech spotřebičů v rodinném domě a tu sečetl (je uvedena v tabulce č. 4.1).

Tab. č. 4.1 – Roční spotřeba elektřiny pro všechny spotřebiče v rodinném domě

Spotřebič	Roční spotřeba (kW·h)
Lednice a mrazák	900
Pračka	350
Myčka	450
Sušička	600
Sporák, trouba, konvice	820
TV, video, satelit	410
Hi-Fi	20
Počítač	250
Osvětlení	350
Ostatní	500
<b>Celková roční spotřeba <math>E_{RD,r}</math></b>	<b>4 650</b>

Pak jsem si rozložil roční spotřebu do jednotlivých měsíců podle vzorce:

$$E_{RD,m} = E_{RD,r} \cdot \frac{D_m}{D_r} \quad (\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (20)$$

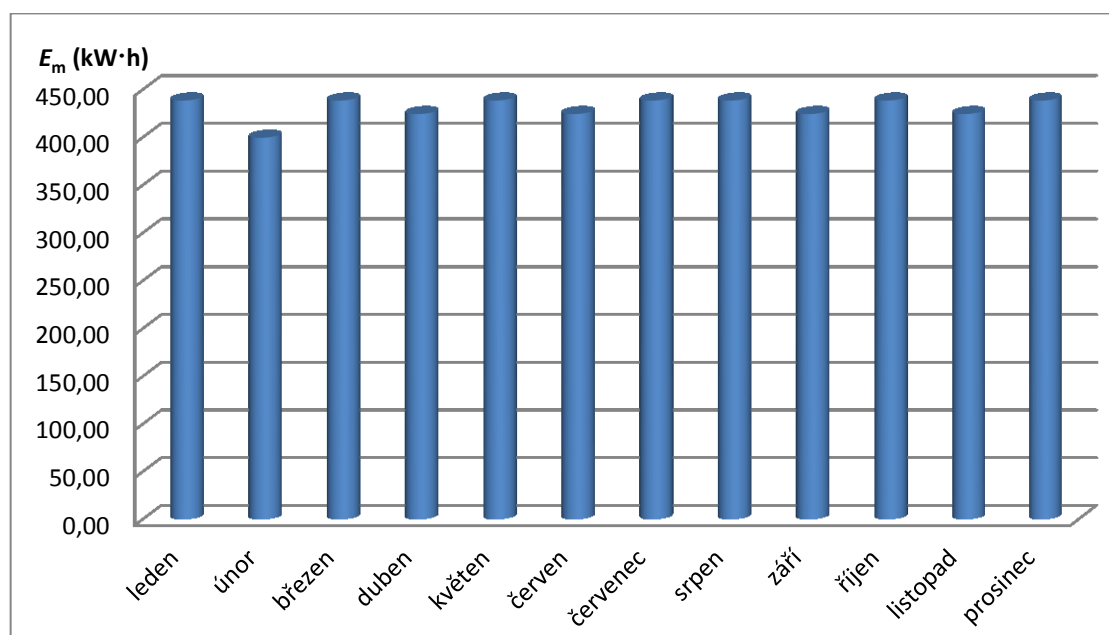
kde  $D_m$  je počet dnů v měsíci;  
 $D_r$  – počet dnů v roce.

Vyrobená energie potřebná pro provoz ostrovního systému je vždycky větší, než energie potřebná pro provoz spotřebičů. Tento rozdíl tvoří ztráty v ostrovním systému při akumulaci přebytku energie z výroby a následné přeměně zpátky do sítě. Tyto ztráty jsem odhadnul na 10% z celkové vyrobené energie. Účinnost systému jsem zohlednil ve výpočtu měsíční potřeby výroby elektřiny  $E_m$  ( $\eta_{OP} = 0,9$ ). Ta se vypočítá ze vztahu:

$$E_m = \frac{E_{RD,m}}{\eta_{OP}} \quad (\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (21)$$

Tab. č. 4.2 – Měsíční potřeba výroby elektřiny  $E_m$  pro provoz ostrovního systému

Měsíc	$E_{RD,m}$	$E_m$
	kW·h	kW·h
leden	394,66	438,51
únor	359,65	399,61
březen	394,66	438,51
duben	381,93	424,37
květen	394,66	438,51
červen	381,93	424,37
červenec	394,66	438,51
srpen	394,66	438,51
září	381,93	424,37
říjen	394,66	438,51
listopad	381,93	424,37
prosinec	394,66	438,51



Obr. č. 4.1 – Průměrná měsíční potřeba výroby elektřiny pro provoz ostrovního systému

## 4.2 Potřeba tepla pro vytápění

**Lokalitě Hodonín odpovídají tyto hodnoty:**

- venkovní výpočtová teplota:  $t_e = -12\text{ °C}$
- průměrná teplota během otopného období:  $t_{es} = 4,2\text{ °C}$
- délka topného období:  $d = 215\text{ dnů}$

**Pro návrh si zvolím několik parametrů:**

- tepelná ztráta objektu:  $Q_C = 6\text{ kW}$
- průměrná vnitřní výpočtová teplota:  $t_{is} = 19\text{ °C}$
- opravný součinitel:  $\varepsilon = 0,85$
- účinnost obsluhy resp. možnosti regulace soustavy:  $\eta_o = 0,95$
- účinnost rozvodu vytápění:  $\eta_r = 0,95$

**Výpočet vytápěcích denostupňů:**

$$D = d \cdot (t_{is} - t_{es}) = 215 \cdot (19 - (-12)) = \underline{3\,182\text{ K} \cdot \text{dny}} \quad (4)$$

**Výpočet roční potřeby tepla pro vytápění:**

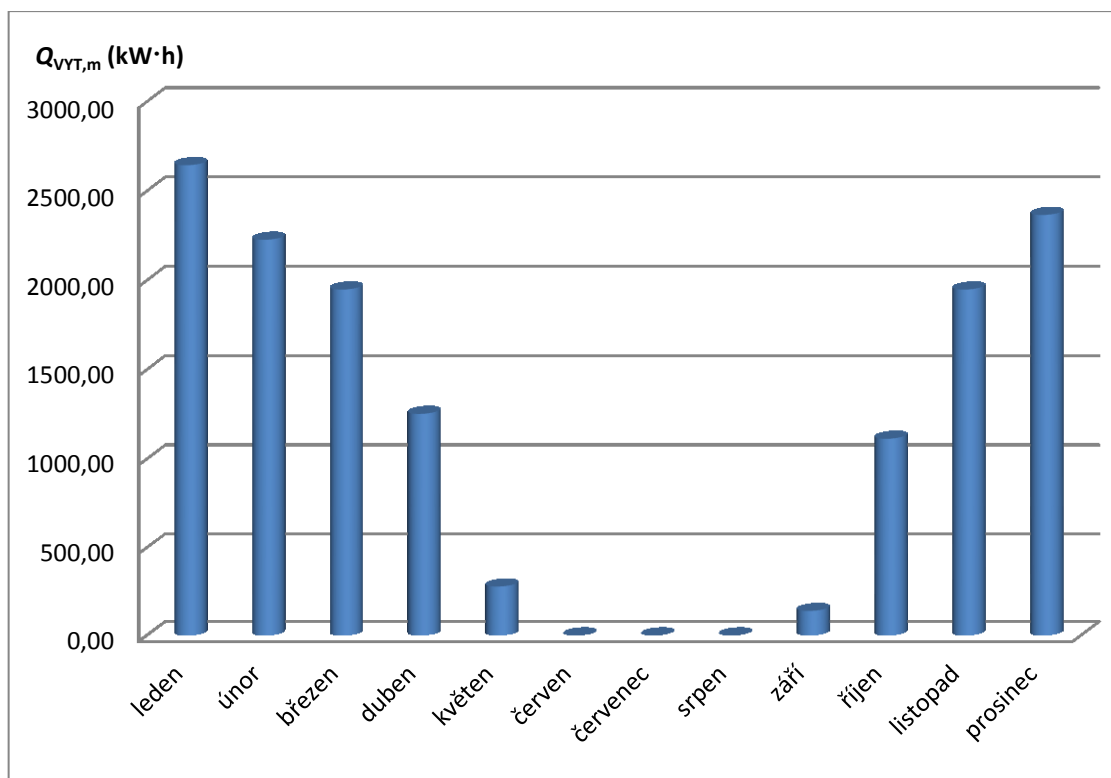
$$Q_{\text{VYT},r} = \frac{\varepsilon}{\eta_o \cdot \eta_r} \cdot \frac{24 \cdot Q_C \cdot D}{(t_{is} - t_e)} = \frac{0,85}{0,95 \cdot 0,95} \cdot \frac{24 \cdot 6 \cdot 3\,182}{(19 - (-12))} = \underline{13\,921\text{ kW} \cdot \text{h}} \quad (5)$$

**Příklad výpočtu průměrné měsíční potřeby energie pro vytápění v lednu:**

$$Q_{\text{VYT},m} = Q_{\text{VYT},r} \cdot \varphi_{\text{VYT},m} = 13\,921 \cdot 0,19 = \underline{2\,645\text{ kW} \cdot \text{h}} \quad (6)$$

Tab. č. 4.3 – Tabulka průměrných měsíčních hodnot potřeby energie pro vytápění

Měsíc	$\Phi_{VYT,m}$	$Q_{VYT,m}$
	-	kW·h
leden	0,19	2 645
únor	0,16	2 227,37
březen	0,14	1 948,95
duben	0,09	1 252,9
květen	0,02	278,42
červen	0	0
červenec	0	0
srpen	0	0
září	0,01	139,21
říjen	0,08	1 113,69
listopad	0,14	1 948,95
prosinec	0,17	2 366,58



Obr. č. 4.2 – Rozložení potřeby tepla pro vytápění v průběhu roku

### 4.3 Potřeba tepla pro ohřev teplé vody

Pro návrh si zvolím několik parametrů:

- teplota studené vody:  $t_1 = 10\text{ °C}$
- teplota ohřáté vody:  $t_2 = 55\text{ °C}$
- celková potřeba teplé vody za 1 den:  $V_{2p} = 0,328\text{ m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$
- koeficient energetických ztrát systému pro přípravu teplé vody:  $z = 0,5$
- teplota studené vody v létě:  $t_{svl} = 15\text{ °C}$
- teplota studené vody v zimě:  $t_{svz} = 5\text{ °C}$
- počet pracovních dní soustavy v roce:  $N = 365\text{ dnů}$

Výpočet denní potřeby tepla pro ohřev teplé vody:

$$Q_{\text{TUV,d}} = (1 + z) \cdot \frac{\rho \cdot c \cdot V_{2p} \cdot (t_2 - t_1)}{3600000} = (1 + 0,5) \cdot \frac{1000 \cdot 4186 \cdot 0,328 \cdot (55 - 10)}{3600000} \quad (7)$$
$$= \underline{25,744\text{ kW} \cdot \text{h}}$$

Roční potřeba tepla pro ohřev teplé vody je dána vztahem:

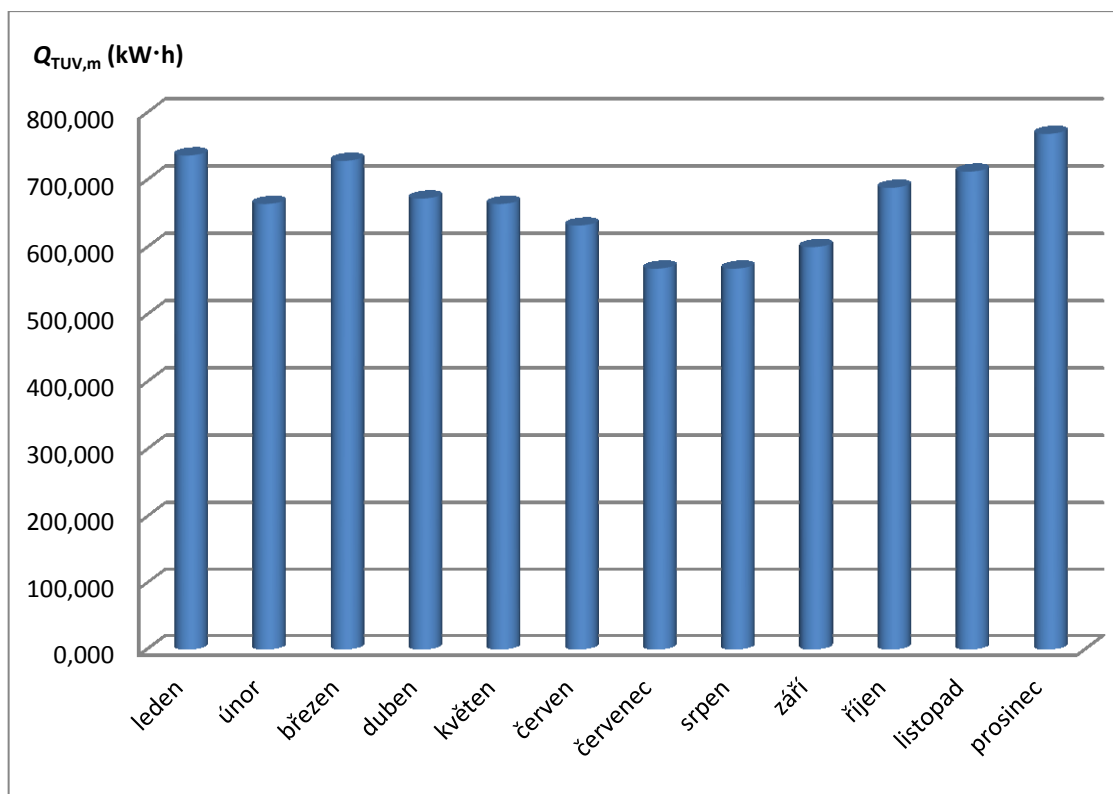
$$Q_{\text{TUV,r}} = Q_{\text{TUV,d}} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{\text{TUV,d}} \cdot \frac{t_2 - t_{svl}}{t_2 - t_{svz}} \cdot (N - d) = 25,744 \cdot 215 + 0,8 \cdot 25,744 \cdot \frac{55 - 15}{55 - 5}$$
$$= \underline{8\,006\text{ kW} \cdot \text{h}} \quad (8)$$

Příklad výpočtu průměrné měsíční potřeby energie pro ohřev teplé vody v lednu:

$$Q_{\text{TUV,m}} = Q_{\text{TUV,r}} \cdot \varphi_{\text{TUV,m}} = 8\,006 \cdot 0,092 = \underline{736,58\text{ kW} \cdot \text{h}} \quad (9)$$

Tab. č. 4.4 – Tabulka průměrných měsíčních hodnot potřeby energie pro ohřev teplé vody

Měsíc	$\varphi_{TUV,m}$	$Q_{TUV,m}$
	-	kW·h
leden	0,092	736,58
únor	0,083	664,53
březen	0,091	728,58
duben	0,084	672,53
květen	0,083	664,53
červen	0,079	632,5
červenec	0,071	568,45
srpen	0,071	568,45
září	0,075	600,48
říjen	0,086	688,55
listopad	0,089	712,57
prosinec	0,096	768,61



Obr. č. 4.3 – Rozložení potřeby tepla pro ohřev teplé vody v průběhu roku

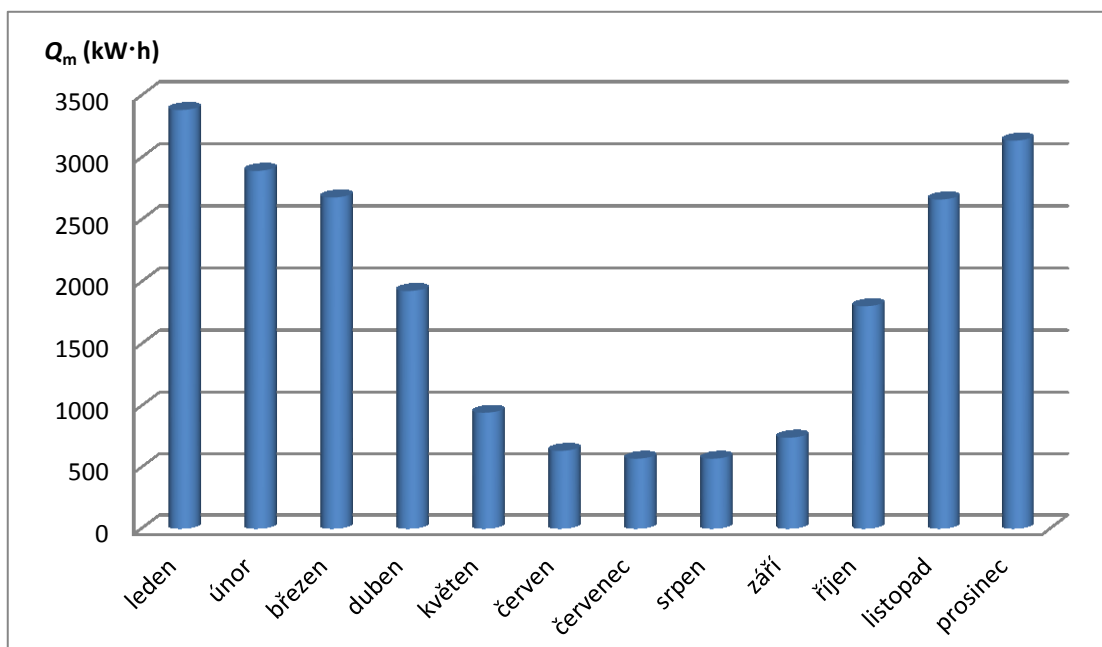
## 4.4 Celková měsíční potřeba energie na vytápění a ohřev teplé vody

**Příklad výpočtu průměrné měsíční potřeby energie na vytápění a ohřev teplé vody v lednu:**

$$Q_m = Q_{VYT,m} + Q_{TUV,m} = 736\,584 + 2\,645\,000 = 3\,381\,584 \text{ Wh} = \underline{3\,381,59 \text{ kW} \cdot \text{h}} \quad (10)$$

Tab. č. 4.5 – Průměrné měsíční hodnoty potřeby energie pro vytápění a ohřev teplé vody

	$Q_{TUV,m}$	$Q_{VYT,m}$	$Q_m$
Měsíc	kW·h	kW·h	kW·h
leden	736,584	2 645,00	3 381,59
únor	664,527	2 227,37	2 891,9
březen	728,578	1 948,95	2 677,53
duben	672,534	1 252,90	1 925,43
květen	664,527	278,42	942,95
červen	632,502	0,00	632,5
červenec	568,451	0,00	568,45
srpen	568,451	0,00	568,45
září	600,476	139,21	739,69
říjen	688,546	1 113,69	1 802,23
listopad	712,565	1 948,95	2 661,52
prosinec	768,610	2 366,58	3 135,19



Obr. č. 4.4 – Rozložení potřeby tepla pro vytápění a ohřev teplé vody v průběhu roku

## 4.5 Odhad výroby Fotovoltaické elektrárny

K odhadu výroby fotovoltaické elektrárny jsem použil systém PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System). Tento fotovoltaický geografický informační systém jde použít pro kteroukoliv lokalitu v Evropě. Systém vychází z dat získaných z měření intenzity slunečního záření a teploty, které probíhalo v letech 1985-1995 po celé Evropě. Odhadované měsíční a denní vyrobené množství energie je uvedeno v tabulce č. 4.6.

### Pro návrh si zvolím několik parametrů:

Lokalita	Hodonín
špičkový instalovaný výkon	3,68 kWp
Technologie	krystalický křemík
Odhadované ztráty systému	10%
Náklon panelů	31°
Orientace panelů	0°

### Výsledky odhadu:

Odhadované ztráty vlivem teploty: 7.1 % (s použitím databáze teplot)

Odhadované ztráty vlivem úhlové odrazivosti: 3.0 %

Jiné ztráty (kabely, měnič, atd.): 10.0 %

Celkové ztráty systému: 20.1 %

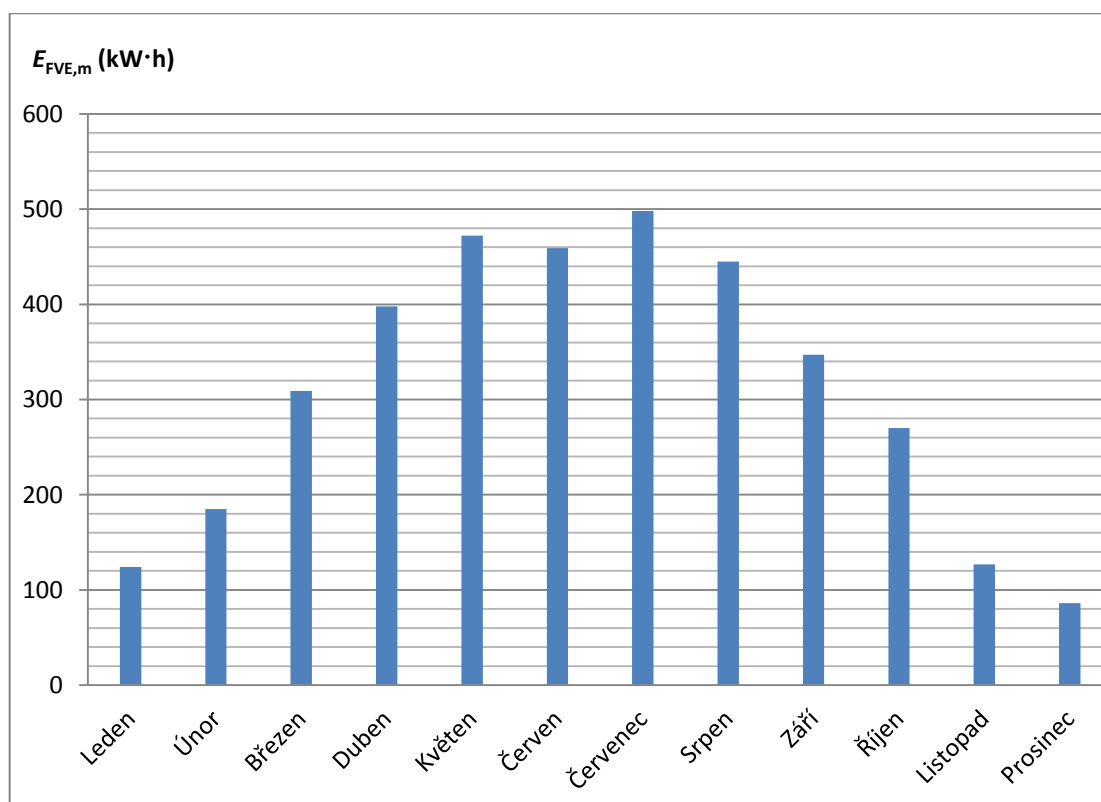
Tab. č. 4.6 – Odhad výroby fotovoltaické elektrárny

Měsíc	$E_{FVE,m}$	$E_{FVE,d}$
	kW·h	kW·h
Leden	124	4
Únor	185	6,607
Březen	309	9,968
Duben	398	13,267
Květen	472	15,226
Červen	459	15,3
Červenec	498	16,065
Srpen	445	14,355
Září	347	11,567
Říjen	270	8,71
Listopad	127	4,233
Prosinec	86	2,774



Celkový roční odhad výroby  $E_{FVE,r}$  je dán součtem ve všech měsících.

$$E_{FVE,r} = \underline{3\,720 \text{ kW} \cdot \text{h}}$$



Obr. č. 4.5 – Graf odhadnutých hodnot výroby fotovoltaické elektrárny

## 4.6 Výroba elektrické energie kogenerační jednotkou

Kogenerační jednotka je ovládána zařízením pro regulaci teploty. Toto zařízení měří teplotu v domě a teplotu vody v akumulární nádrži. Kogenerační jednotka spolu s topnou spirálou (využití přebytků z výroby elektřiny při plném nabití akumulátoru) ohřívá vodu v akumulární nádrži podle potřeb tepla pro domácnost.

Množství vyrobené elektřiny kogenerační jednotkou za měsíc je dáno vztahem:

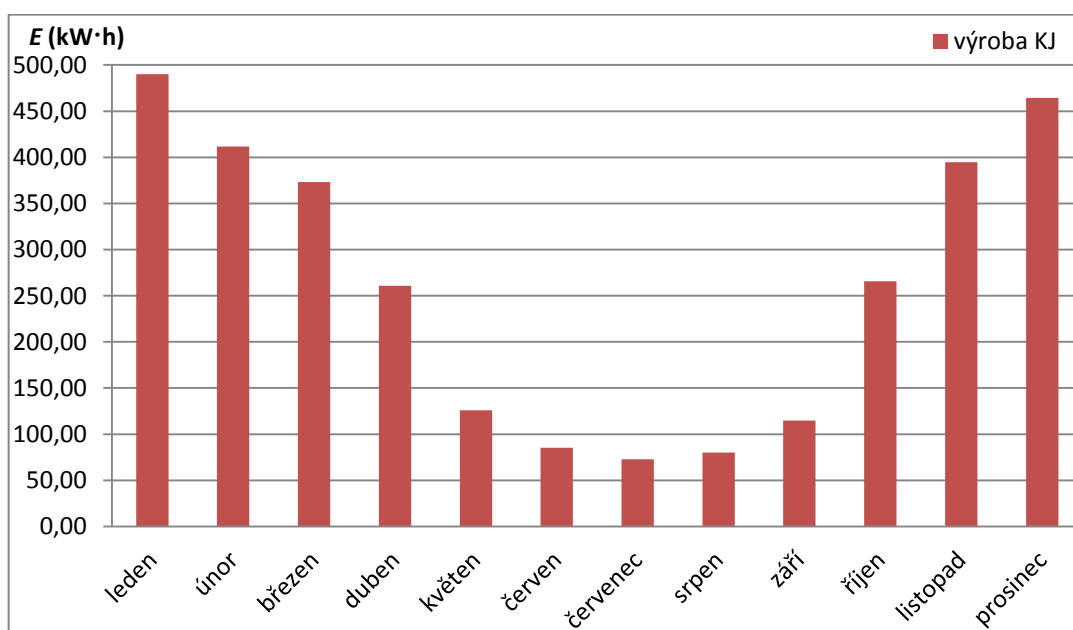
$$E_{KJ,m} = \frac{Q_m - (E_{FVE,m} - E_m) \cdot \eta_{TS}}{\left( \frac{\eta_{tep}}{\eta_{el}} + \eta_{TS} \right)} \quad (\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (19)$$

Příklad výpočtu vyrobené elektřiny kogenerační jednotkou v lednu:

$$E_{\text{KJ},m} = \frac{Q_m - (E_{\text{FVE},m} - E_m) \cdot \eta_{\text{TS}}}{\left( \frac{\eta_{\text{tep}}}{\eta_{\text{el}}} + \eta_{\text{TS}} \right)} = \frac{3\,117,09 - (124 - 438,51) \cdot 1}{\left( \frac{0,8229}{0,1371} + 1 \right)} = 490,08 \text{ kW} \cdot \text{h} \quad (19)$$

Tab. č. 4.7 – Odhad výroby kogenerační jednotky

měsíc	$Q_m$ kW·h	$E_m$ kW·h	$E_{\text{FVE},m}$ kW·h	$E_{\text{KJ},m}$ kW·h
leden	3 117,09	438,51	124	490,08
únor	2 669,16	399,61	185	411,84
březen	2 482,63	438,51	309	373,05
duben	1 800,14	424,37	398	260,85
květen	915,11	438,51	472	125,91
červen	632,50	424,37	459	85,38
červenec	568,45	438,51	498	72,69
srpen	568,45	438,51	445	80,26
září	725,77	424,37	347	114,70
říjen	1 690,86	438,51	270	265,54
listopad	2 466,62	424,37	127	394,73
prosinec	2 898,53	438,51	86	464,29



Obr. č. 4.6 – Graf vypočtených hodnot výroby kogenerační jednotky

## 4.7 Celková bilance výroby a spotřeby elektřiny

Příklad výpočtu celkové měsíční výroby  $E_{C,m}$  pro měsíc leden:

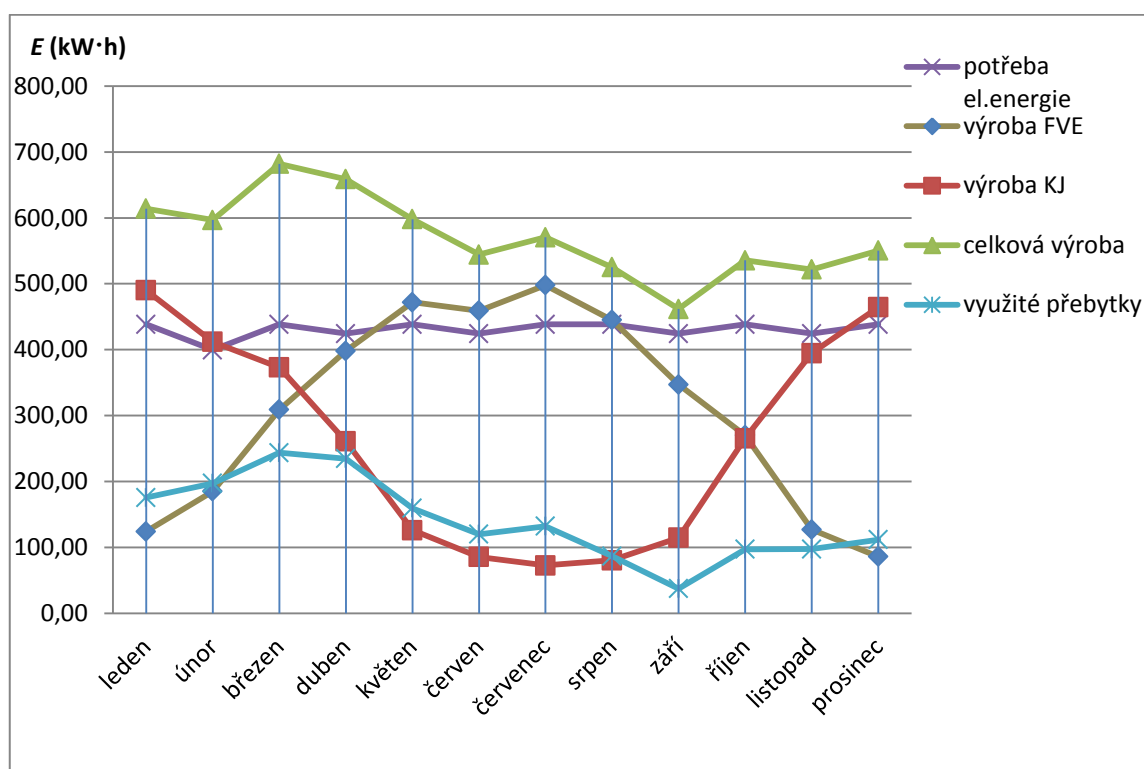
$$E_{C,m} = E_{FVE,m} + E_{KJ,m} = 124 + 490,08 = \underline{614,08 \text{ kW} \cdot \text{h}} \quad (13)$$

Příklad výpočtu celkového měsíčního přebytku elektřiny  $E_{P,m}$  pro měsíc leden:

$$E_{P,m} = E_{C,m} - E_m = 614,08 - 438,51 = \underline{175,56 \text{ kW} \cdot \text{h}} \quad (14)$$

Tab. č. 4.8 – Celková bilance výroby a spotřeby elektřiny

	$E_m$	$E_{FVE,m}$	$E_{KJ,m}$	$E_{C,m}$	$E_{P,m}$
měsíc	kW·h	kW·h	kW·h	kW·h	kW·h
leden	438,51	124	490,08	614,08	175,56
únor	399,61	185	411,84	596,84	197,23
březen	438,51	309	373,05	682,05	243,53
duben	424,37	398	260,85	658,85	234,48
květen	438,51	472	125,91	597,91	159,39
červen	424,37	459	85,38	544,38	120,02
červenec	438,51	498	72,69	570,69	132,17
srpen	438,51	445	80,26	525,26	86,74
září	424,37	347	114,70	461,70	37,33
říjen	438,51	270	265,54	535,54	97,03
listopad	424,37	127	394,73	521,73	97,37
prosinec	438,51	86	464,29	550,29	111,78



Obr. č. 4.7 – Graf celkové bilance výroby a spotřeby elektřiny

#### 4.8 Celková bilance výroby a spotřeby tepelné energie a provozní doba zdrojů

Příklad výpočtu prvního řádku tabulky č. 4.9 pro měsíc leden:

$$Q_{KJ,m} = E_{KJ,m} \cdot \frac{\eta_{tep}}{\eta_{el}} = 490,08 \cdot \frac{0,8229}{0,1371} = \underline{2\,941,52 \text{ kW} \cdot \text{h}} \quad (18)$$

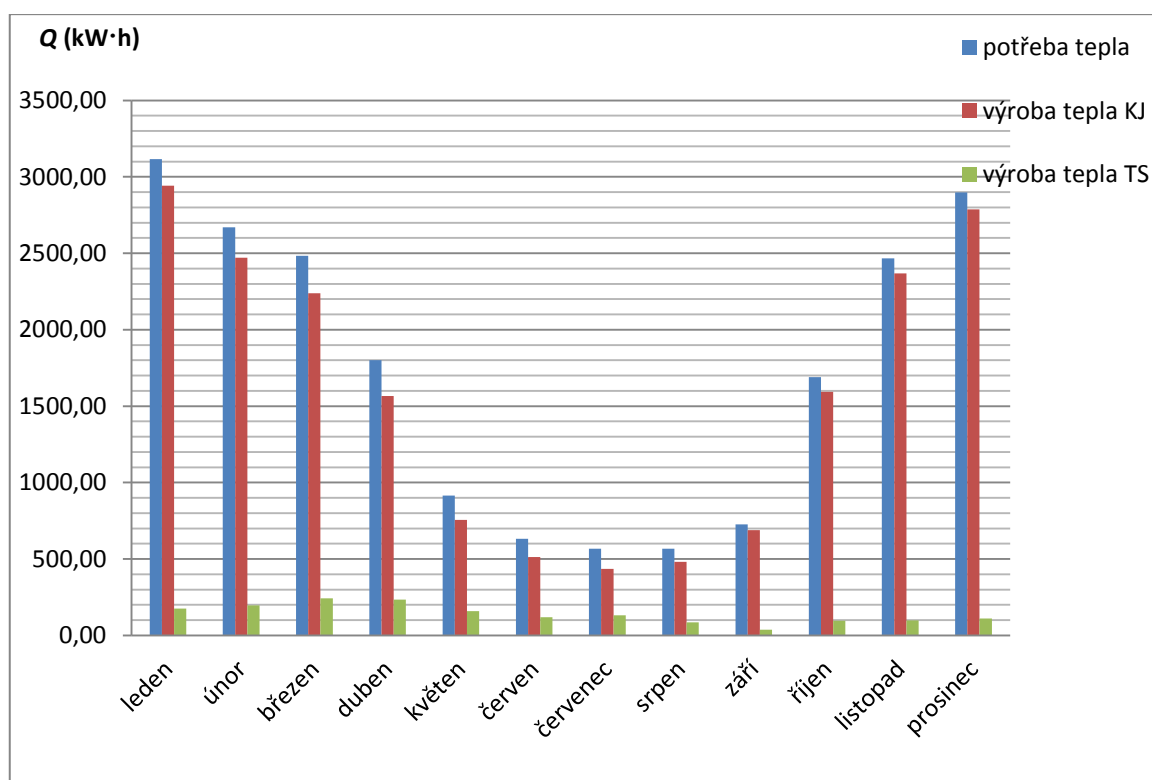
$$Q_{TS,m} = Q_m - Q_{KJ,m} = 3\,117,09 - 2\,941,52 = \underline{175,56 \text{ kW} \cdot \text{h}} \quad (11)$$

$$T_{KJ,d} = \frac{Q_{KJ,m}}{P_{tep} \cdot D_m} = \frac{2\,941,52}{6 \cdot 31} = \underline{15,81 \text{ hodin}} \quad (22)$$

$$T_{TS,d} = \frac{Q_{TS,m}}{P_{TS} \cdot D_m} = \frac{175,56}{6 \cdot 31} = \underline{0,94 \text{ hodin}} \quad (23)$$

Tab. č. 4.9 – Celková bilance výroby a spotřeby tepelná provozní doba zdrojů

měsíc	$E_{KJ,m}$	$Q_m$	$Q_{KJ,m}$	$Q_{TS,m}$	$T_{KJ,d}$	$T_{TS,d}$
	kW·h	kW·h	kW·h	kW·h	hodin	hodin
leden	490,08	3117,09	2941,52	175,56	15,81	0,94
únor	411,84	2669,16	2471,93	197,23	14,58	1,16
březen	373,05	2482,63	2239,10	243,53	12,04	1,31
duben	260,85	1800,14	1565,66	234,48	8,70	1,30
květen	125,91	915,11	755,71	159,39	4,06	0,86
červen	85,38	632,50	512,49	120,02	2,85	0,67
červenec	72,69	568,45	436,28	132,17	2,35	0,71
srpen	80,26	568,45	481,71	86,74	2,59	0,47
září	114,70	725,77	688,44	37,33	3,82	0,21
říjen	265,54	1690,86	1593,83	97,03	8,57	0,52
listopad	394,73	2466,62	2369,26	97,37	13,16	0,54
prosinec	464,29	2898,53	2786,76	111,78	14,98	0,60



Obr. č. 4.8 – Graf vypočtených hodnot výroby kogenerační jednotky

## 4.9 Dimenzování kapacity akumulátoru

Baterii navrhnu tak, aby při plném nabití byla schopna dodávat dostatečné množství energie, při omezené výrobě z fotovoltaické elektrárny po dobu 3 dnů na 35% průměrného výkonu. Při nedostatku výroby se topná spirála nepodílí na výrobě tepla. Platí proto vztah:

$$Q_{KJ,d} = \frac{Q_m}{D_m} \quad (\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (24)$$

Odvození celkové denní výroby při omezené výrobě fotovoltaické elektrárny:

$$\begin{aligned} E_{C,d} &= 0,35 \cdot F_{FVE,d} + E_{KJ,d} \\ E_{C,d} &= 0,35 \cdot F_{FVE,d} + Q_{KJ,d} \cdot \frac{\eta_{el}}{\eta_{tep}} \\ E_{C,d} &= 0,35 \cdot F_{FVE,d} + \frac{Q_m}{D_m} \cdot \frac{\eta_{el}}{\eta_{tep}} \quad (\text{kW} \cdot \text{h}) \end{aligned} \quad (25)$$

Energie potřebná pro bezproblémový provoz po dobu tří dnů  $E_z$ :

$$\begin{aligned} E_z &= 3 \cdot \left( \frac{E_m}{D_m} - E_{C,d} \right) \\ E_z &= 3 \cdot \left( \frac{E_m}{D_m} - 0,35 \cdot F_{FVE,d} - \frac{Q_m}{D_m} \cdot \frac{\eta_{el}}{\eta_{tep}} \right) \cdot 10^3 \quad (\text{W} \cdot \text{h}) \end{aligned} \quad (26)$$

Tab. č. 4.10 - Energetická bilance ostrovního systému při omezené výrobě fotovoltaické elektrárny

	$E_m$	$E_{FVE,m}$	$E_{FVE,d}$	$Q_m$	$E_z$
měsíc	kW·h	kW·h	kW·h	kW·h	W·h
leden	438,51	124	4,00	3117,09	-12039
únor	399,61	185	6,55	2669,16	-11681
březen	438,51	309	9,97	2482,63	-8072
duben	424,37	398	13,27	1800,14	-1496
květen	438,51	472	15,23	915,11	11690
červen	424,37	459	15,30	632,50	15830
červenec	438,51	498	16,06	568,45	16400
srpen	438,51	445	14,35	568,45	18196
září	424,37	347	11,57	725,77	18196
říjen	438,51	270	8,71	1690,86	6020
listopad	424,37	127	4,23	2466,62	-3119
prosinec	438,51	86	2,77	2898,53	-7227

Spolehlivost dodávky v období od listopadu do dubna není omezenou výrobou z fotovoltaické elektrárny narušena. Celková výroba je i přesto větší než spotřeba. Pro návrh budu brát v úvahu nejvyšší hodnotu  $E_z = 18\,196 \text{ kW}\cdot\text{h}$ .

**Pro návrh si zvolím několik parametrů:**

- koeficient respektující stárnutí baterii:  $k = 1,3$
- napětí baterie:  $V_B = 48 \text{ V}$
- hloubka vybití baterie:  $DOD_{\text{MAX}} = 0,8$
- teplotní korekční faktor:  $T_{\text{CF}} = 1$
- účinnost baterií:  $\eta_B = 0,8$

**Výpočet kapacity baterie:**

$$C_B = \frac{E_z \cdot k}{V_B \cdot DOD_{\text{MAX}} \cdot T_{\text{CF}} \cdot \eta_B} = \frac{18\,196 \cdot 1 \cdot 1,3}{48 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 0,8} = \underline{770 \text{ A}\cdot\text{h}} \quad (1)$$

**Volba akumulátorového souboru:**

Volím akumulátorový soubor z 12 baterií Intact Solar-Power 250 GUG (3 paralelní větve po 4 sériově spojených akumulátorech).

**Popis Baterie Intact Solar-Power 250 GUG:**

Baterie plněné, 250 A·h (C100)/12 V. Speciální technické uspořádání. Vysoká spolehlivost, životnost a robustní pouzdro. Teplotní rozsah od -20°C do +45°C

Výsledné parametry akumulátorového souboru:

napětí 48 V, kapacita 750 A·h

## 4.10 Dimenzování výkonu topné spirály

Celkový maximální výkon z obou zdrojů  $P_{\text{C,max}}$  je dán vztahem:

$$P_{\text{C,max}} = I_{\text{FVE,max}} \cdot U + P_{\text{el}} \quad (\text{W}) \quad (27)$$

**Výpočet celkového maximálního výkonu:**

$$P_{\text{C,max}} = I_{\text{FVE,max}} \cdot U + P_{\text{el}} = 15,4 \cdot 230 + 1\,000 = \underline{4\,542 \text{ W}} \quad (27)$$

Pro návrh volím topnou spirálu s výkonem 4500W.

## 4.11 Náklady na provoz ostrovního systému

### Výpočet ročních nákladů na plyn:

Měsíční spotřeba plynu je dána vztahem:

$$Q_{G,m} = \frac{Q_{KJ,m}}{\eta_{tep}} \quad (\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (28)$$

Příklad výpočtu spotřeby plynu pro měsíc leden:

$$Q_{G,m} = \frac{Q_{KJ,m}}{\eta_{tep}} = \frac{2\,941,52}{0,8229} = \underline{3\,574,58 \text{ kW} \cdot \text{h}} \quad (28)$$

Tab. č. 4.11 – Spotřeba plynu v průběhu roku

měsíc	$Q_{KJ,m}$	$Q_{G,m}$
	kW·h	kW·h
leden	2 941,52	3 574,58
únor	2 471,93	3 003,93
březen	2 239,10	2 720,99
duben	1 565,66	1 902,61
květen	755,71	918,35
červen	512,49	622,78
červenec	436,28	530,17
srpen	481,71	585,38
září	688,44	836,60
říjen	1 593,83	1 936,85
listopad	2 369,26	2 879,15
prosinec	2 786,76	3 386,51
<b>roční odběr plynu <math>Q_{G,r}</math></b>		<b>22897,90</b>

V Jihomoravském kraji by této roční spotřebě plynu odpovídala v roce 2012 nejnižší dostupná cena 29 066 Kč.

[ 34 ]

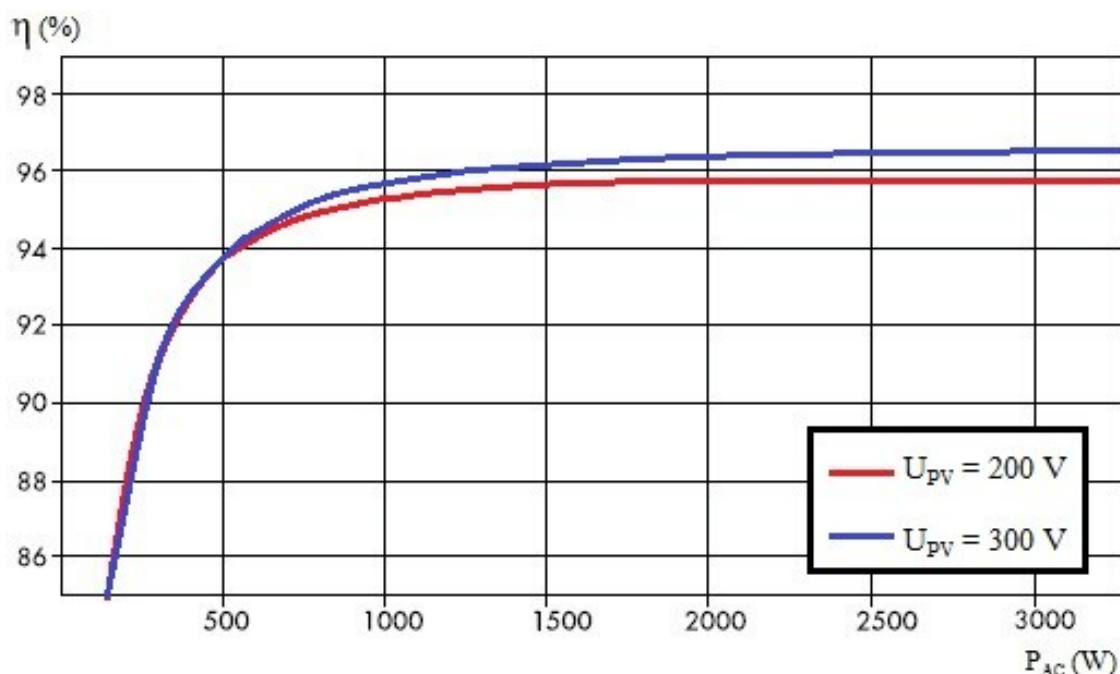


## 4.12 Účinnost komponent ostrovního systému

Pro návrh ostrovního systému jsou vybrána zařízení s vysokou maximální účinností. Skutečná účinnost je však závislá na jejich aktuálním výkonu.

### Účinnost fotovoltaického střídače SB 3000TL-20

Účinnost střídače se v průběhu dne mění, je závislá na aktuálním výkonu fotovoltaického zdroje (viz obrázek č. 4.9). Pro určení účinnosti střídače budu vycházet z hodnoty typického fotovoltaického napětí zjištěného při návrhu v programu Sunny Desing 2.20 (výsledky jsou uvedeny na straně č. 35). Napětí 213 V odpovídá účinnost střídače 95,8 % pro výstupní výkony od 1500 W do 3500 W.



Obr. č. 4.9 – Graf závislosti účinnosti střídače na výstupním výkonu fotovoltaického zdroje

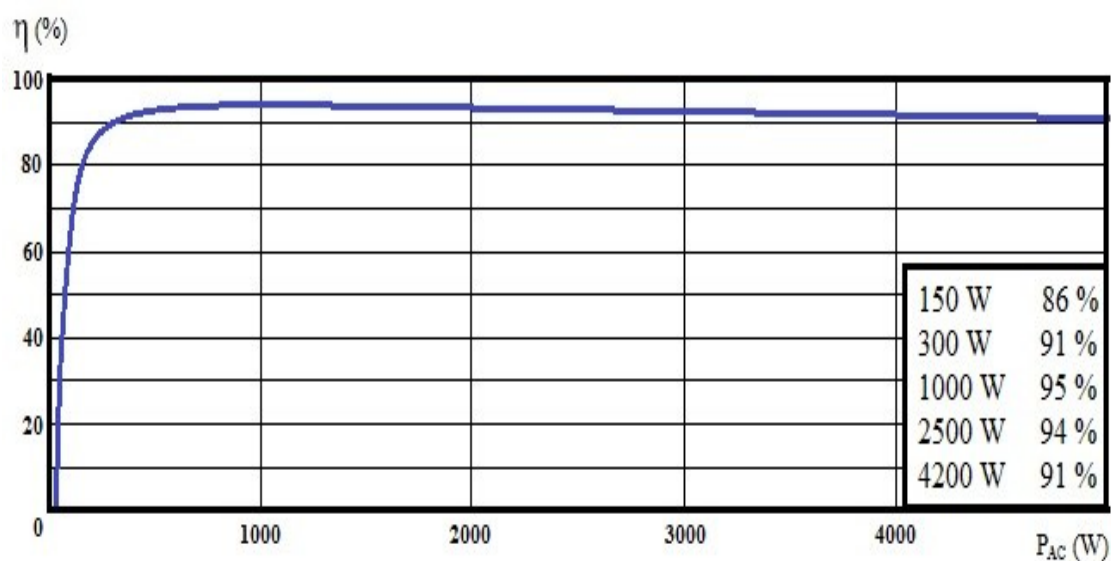
[ 40 ]

### Účinnost kogenerační jednotky Vitotwin 300-W

Kogenerační jednotka bude pracovat jen na plný výkon. Při plném výkonu kogenerační jednotky je celková energetická účinnost výroby tepla a elektřiny 96 %. Jde tedy o velmi efektivní využití energie paliva. Elektrická účinnost u zvolené kogenerační jednotky je 13,71 %, tepelná účinnost pak 82,29 %. Tento poměr výroby tepla a elektřiny je vhodný pro pokrytí potřeb energií navrženého systému.

### Účinnost měniče v Sunny Island 4248

Sunny Island 4248 je vybaven obousměrným měničem napětí. Jeho účinnost je závislá na velikosti výkonu, který je převáděn. Pro výkony 300 W až 4200 W se pohybuje v rozmezí 91 % až 95 %. Závislost účinnosti měniče v Sunny Island na výstupním výkonu je uvedena na obrázku č. 4.10.



Obr. č. 4.10 – Závislost účinnosti měniče v Sunny Island na výstupním výkonu

[ 41]

## Závěr

Úvod práce je zaměřený na problematiku využívání obnovitelných zdrojů energie. Jsou zde rozebrány nežádoucí vlivy fotovoltaických elektráren na stabilitu elektrické sítě. Teoretická část práce se taky zabývá řešením těchto problémů pomocí Smart technologií a významem zavádění chytrých sítí. Pojednává o možnostech využití kogeneračních jednotek pro stabilizaci elektrické sítě a kompenzování rozdílů výnosu fotovoltaických elektráren v průběhu roku. Je zde taky nastíněna podobnost chytré sítě a ostrovního napájecího systému, který se taky musí vypořádat s rozdíly ve výrobě a spotřebě elektrické energie. Tyto znalosti jsou pak aplikovány v praktické části.

Praktická část této práce je zaměřena na využití mikrokogenerační jednotky a malé fotovoltaické elektrárny jako zdrojů elektřiny pro návrh napájení ostrovního systému. Oba tyto zdroje můžou zajistit veškeré potřeby elektřiny a tepla rodinného domu, pokud jsou vhodně nadimenzovány. To bylo i cílem návrhu ostrovního systému. V návrhu je použita mikrokogenerační jednotka Viessmann Vitotwin 300-W s elektrickým výkonem 1 kW a tepelným výkonem 6 kW, dále fotovoltaická elektrárna se špičkovým výkonem 3,68 kWp. Pro stanovení celkové bilance výroby a spotřeby elektřiny se musel udělat odhad měsíční výroby obou zdrojů a odhad spotřeby elektrické energie rodinného domu. Provoz mikrokogenerační jednotky je automaticky řízen potřebami tepla pro vytápění a ohřev teplé vody. Profil výroby obou zdrojů vyhovuje k zajištění dostatku elektřiny pro chod rodinného domu v průběhu celého roku. Odhadnutá celková měsíční výroba elektřiny se sice v jednotlivých měsících lišila, ale vždy byla větší než spotřeba energie. Celková roční rezerva výroby elektřiny navrženého systému činí 32,8 %. Nejmenší celkový měsíční výnos z obou zdrojů byl v září, kdy výroba pokryla spotřebu s 9% rezervou. V září sice výnosy z fotovoltaiky dosahují téměř 70 % maximální měsíční výroby, ale výroba z kogenerační jednotky je minimální. Největší celkový měsíční výnos elektřiny byl v březnu, kdy rezerva výroby dosahovala 55 %. V březnu se ještě poměrně hodně topí a výnosy z fotovoltaiky dosahují až 60% maximální měsíční výroby. Přebytky elektřiny z výroby, které se nevejdou do akumulátoru, jsou přesměrovány do náhradní zátěže. Jsou využívány k ohřevu vody v akumulární nádrži. Využitím přebytků z výroby pro ohřev je snížena doba provozu kogenerační jednotky a tím i spotřeba plynu na provoz ostrovního systému. Navrhovaný systém je šetrný k životnímu prostředí. Využívá veškerou vyrobenou energii z obnovitelného zdroje a efektivně využívá energii paliva z druhého neobnovitelného zdroje. Praktická část ověřila předpoklad z teoretické části, že tyto dva typy zdrojů se svými vlastnostmi vhodně doplňují.

Ostrovní systém je schopen celkový maximální výkon obou zdrojů ukládat do baterií a taky jej celý přesměrovat do náhradní zátěže, když je baterie plná. Kapacita akumulátorového souboru je nadimenzována tak, aby při plném nabití byla schopna zajistit 3 dny provoz domu i při

omezené dodávce z fotovoltaické elektrárny odpovídající 35 % očekávaného průměrného výkonu po celý rok.

Přebytky výroby zdrojů využitých v ostrovním systému by se daly využívat lépe, než pro předehřev vody v akumulční nádrži. Bylo by vhodné, dodávat je do veřejné sítě, kde by mohly kompenzovat zvýšenou potřebu elektrické energie v prvních čtyřech měsících, kdy jsou přebytky z těchto zdrojů maximální. Zatím však v České republice není podporováno připojení kombinovaného zdroje do sítě přes jednu přípojku. Tohle by se však mohlo změnit s příchodem Smart Grid a se změnou legislativy. Použití těchto dvou zdrojů energie se jeví jako vhodná kombinace nejen pro ostrovní systémy, ale taky pro domy připojené do chytré sítě. Tento systém by mohl dodávat přebytečný výkon do chytré sítě v těch částech dne, kdy je v síti nedostatek energie. V této době by měla být i výhodnější výkupní cena elektrické energie. Zisky z prodeje elektřiny by snížily náklady na provoz více, než využití přebytků v navrženém ostrovním napájecím systému.

## Seznam použité literatury

- [ 1 ] Murtinger, K., Beranovský, J., Tomeš, M.: *Fotovoltaika* - 2. vydání, ISBN: 978-80-7366-133-5, Era
- [ 2 ] Kaminský, J.; Vrtek, M. *Obnovitelné a alternativní zdroje energie*. Ostrava, 2002
- [ 3 ] Smart Grids. CHLUBNÝ, Jaroslav. [online]. [cit. 2011-10-11]. Dostupné z: <http://coptel.coptkm.cz/index.php?action=2&doc=4570&docGroup=189&cmd=0&instance=1>
- [ 4 ] Úvod do problematiky inteligentních sítí. In: *Úvod do problematiky inteligentních sítí* [online]. 2010. vyd. [cit. 2011-10-10]. Dostupné z: [http://www02.abb.com/global/czabb/czabb018.nsf/0/a5a3d03331846f55c125773d004a5ede/\\$file/Smart+grids\\_cz.pdf](http://www02.abb.com/global/czabb/czabb018.nsf/0/a5a3d03331846f55c125773d004a5ede/$file/Smart+grids_cz.pdf)
- [ 5 ] Fenomén Smart Grids. In: *Úvod do problematiky inteligentních sítí* [online]. 2010. vyd., 2010 [cit. 2011-10-10]. Dostupné z: [http://www02.abb.com/global/czabb/czabb018.nsf/0/ce8319694ef0b683c125773d003f67a9/\\$file/Fenom%C3%A9n+Smart+Grids.pdf](http://www02.abb.com/global/czabb/czabb018.nsf/0/ce8319694ef0b683c125773d003f67a9/$file/Fenom%C3%A9n+Smart+Grids.pdf)
- [ 6 ] Smart Grid – hudba blízké budoucnosti. *3POL* [online]. 2009 [cit. 2012-02-03]. Dostupné z: <http://3pol.cz/817-smart-grid-hudba-blizke-budoucnosti>
- [ 7 ] VESELÝ, Ivo a Jaroslav ŠEMBERA. *Kogenerační jednotky v síti Smart grid*. 2011. Dostupné z: <http://www.cemc.cz/OZE2011/129.pdf>
- [ 8 ] Rubrika Smart. *All for Power*. 2011, 5., 3/2011, s. 121-137. ISSN 1802-8535.
- [ 9 ] Kogenerační jednotky. *Infoenergie.cz* [online]. 2004 [cit. 2012-03-22]. Dostupné z: <http://www.infoenergie.cz/web/root/energy.php?nav01=123&nav02=134>
- [ 10 ] ABB s.r.o. - Smart Grids: Energetické sítě 21. století. *Svět průmyslu* [online]. 2010 [cit. 2012-01-07]. Dostupné z: <http://www.svetprumyslu.cz/abb-s.r.o.-smartgridsenergeticke-site-21.-stoleti-abv1166/>
- [ 11 ] Akumulace elektrické energie. *ELEKTRO* [online]. 2011 [cit. 2011-12-12]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/42869.pdf>
- [ 12 ] Why the smart grid wont have the innovations of the internet any time soon. *Gigaom* [online]. 2010 [cit. 2011-10-10]. Dostupné z: <http://gigaom.com/cleantech/why-the-smart-grid-wont-have-the-innovations-of-the-internet-any-time-soon838-smart-metering>
- [ 13 ] Smart Metering. *3POL* [online]. 2009 [cit. 2012-01-25]. Dostupné z: <http://3pol.cz/838-smart-metering>
- [ 14 ] [http://www.renesas.com/edge\\_ol/feature/06/index.html](http://www.renesas.com/edge_ol/feature/06/index.html)
- [ 15 ] *Digitalizace energetických distribučních sítí z pohledu ERÚ*. 2011. Dostupné z: [www.stech.cz/download.php?id\\_document=401159954&at=1](http://www.stech.cz/download.php?id_document=401159954&at=1)
- [ 16 ] Smart Metering – Inteligentní sběr dat na dálku. *Materna* [online]. 2009 [cit. 2012-03-06]. Dostupné z: <http://www.maternacz.com/cs/productSheets/smart-metering.pdf>

- [ 17 ] Vyjimecnedomy.cz. *Tretiruka.cz* [online]. 2010 [cit. 2012-01-05]. Dostupné z: <http://www.tretiruka.cz/news/alternativni-energie-1-2010/>
- [ 18 ] Ostrovní fotovoltaické systémy. *Vyjimecnedomy.cz* [online]. 2008 [cit. 2012-03-03]. Dostupné z: <http://www.vyjimecnedomy.cz/fotovoltaicke-systemy>
- [ 19 ] *Ostrovní napájecí systémy využívající OZE* [online]. 2011 [cit. 2012-05-03]. Dostupné z: [http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=44447](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=44447)
- [ 20 ] *Vývoj v oblasti vytápění, trendy* [online]. 2007 [cit. 2012-05-03]. Dostupné z: <http://www.casopisstavebnictvi.cz/clanek.php?detail=509>
- [ 21 ] Mikrokogenerace odstartovala. *Technický týdeník* [online]. 2010 [cit. 2012-01-04]. Dostupné z: <http://www.techtydenik.cz/detail.php?action=show&id=6197&mark=>
- [ 22 ] Kogenerace: Úspora 35 % energie. *Ptas* [online]. 2004 [cit. 2012-02-01]. Dostupné z: [http://www.ptas.cz/html/zpravodaj/leden\\_unor2004/](http://www.ptas.cz/html/zpravodaj/leden_unor2004/)
- [ 23 ] Kogenerace. *EkoWATT* [online]. 2008 [cit. 2012-02-02]. Dostupné z: <http://www.ekowatt.cz/uspory/kogenerace.shtml>
- [ 24 ] Potřeba tepla pro vytápění a ohřev teplé vody. *Tzbinfo* [online]. 2011 [cit. 2012-04-04]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-potreba-tepla-pro-vytapani-a-ohrev-teple-vody>
- [ 25 ] Norma č. 372/2001 Sb. *Dlouhodobé měsíční průměry klimatické náročnosti*. Praha: Ministerstvo pro místní rozvoj, 2001.
- [ 26 ] Časové rozložení spotřeby teplé vody. In: *Panelové domy* [online]. 2011 [cit. 2012-01-03]. Dostupné z: <http://panelovedomy.ekowatt.cz/tepla-voda/35-casove-rozlozeni-spotreby-teple-vody>
- [ 27 ] Kogenerační jednotky. In: *Pražská plynárenská a.s.* [online]. 2011 [cit. 2012-03-03]. Dostupné z: <http://www.ppas.cz/cs/produkty-a-sluzby/plyn/informace-o-zemnim-plynu/plynove-spotrebice/kogeneracni-jednotky/>
- [ 28 ] *Kombinovaná výroba elektřiny a tepla* [online]. 2007 [cit. 2011-11-02]. Dostupné z: <http://www.energetika.cz/index.php?id=128>
- [ 29 ] *Postup výpočtu tepelných ztrát* [online]. 2011 [cit. 2011-11-12]. Dostupné z: <http://www.energetickyporadce.cz/tepelne-ztrat/postup-vypoctu-tepelnych-ztrat.html>
- [ 30 ] *Bilance a výpočty* [online]. 2011 [cit. 2011-10-10]. Dostupné z: [http://hestia.energetika.cz/encyklopedie/12.htm#12\\_1](http://hestia.energetika.cz/encyklopedie/12.htm#12_1)
- [ 31 ] *Off Grid Solutions*. Česká republika, 2011. Dostupné z: [http://files.sma.de/dl/17333/SFK\\_OFFGRID\\_KCZ120311W.pdf](http://files.sma.de/dl/17333/SFK_OFFGRID_KCZ120311W.pdf)
- [ 32 ] *VITOTWIN 300-W*. Chrášťany, 2011. Dostupné z: [http://www.viessmann.cz/etc/medialib/internet-cz/pdf/ltu/ostatne.Par.16682.File.File.tmp/Vitotwin300-W08-2011\\_WEB.pdf](http://www.viessmann.cz/etc/medialib/internet-cz/pdf/ltu/ostatne.Par.16682.File.File.tmp/Vitotwin300-W08-2011_WEB.pdf)
- [ 33 ] *SMART LOAD 6000*. Germany, 2008. Dostupné z: <http://files.sma.de/dl/4439/SL6000-TEN081820.pdf>
- [ 34 ] Srovnání cen plynu - levný plyn. *Ušetřeno.cz* [online]. 2012 [cit. 2012-02-03]. Dostupné z: <http://www.usetreno.cz/energie-plyn>

- [ 35 ] Význam inteligentních sítí pro využívání obnovitelných zdrojů energie. *Fccpublic.cz* [online]. 2010 [cit. 2011-10-08]. Dostupné z: [http://www.fccpublic.cz/konference/EB\\_01\\_Borkovec.pdf](http://www.fccpublic.cz/konference/EB_01_Borkovec.pdf)
- [ 36 ] Inteligentní sítě – Česká republika nezůstává pozadu. HORČÍK, Jan. *Ekologické bydlení* [online]. 2010 [cit. 2012-01-08]. Dostupné z: <http://www.ekobydleni.eu/energie/inteligentni-site-ceska-republika-nezustava-pozadu>
- [ 37 ] Ostrovní systémy. *Enerfin plus s.r.o.* [online]. 2009 [cit. 2012-05-03]. Dostupné z: [http://www.enerfinplus.cz/fotovoltaika\\_ostrovní\\_systemy.php](http://www.enerfinplus.cz/fotovoltaika_ostrovní_systemy.php)
- [ 38 ] Fotovoltaické systémy pro výrobu elektřiny. *CZECH NATURE ENERGY* [online]. 2012 [cit. 2012-02-15]. Dostupné z: <http://www.cne.cz/fotovoltaicke-systemy/uvod-do-fv-systemu/>
- [ 39 ] Využití sluneční energie jako zdroj pro ohřev vody nebo vytápění domu, bytů nebo bazénů. *Solární systémy: návrhy a stavba svépomoci* [online]. 2010 [cit. 2012-01-07]. Dostupné z: <http://www.vpo.cz/solarni-systemy--455.html>
- [ 40 ] *SB 3000TL-20*. 2009. Dostupné z: <http://en.nwtsolar.cz/pdf/pdf-4c626b42eabd5.pdf>
- [ 41 ] *Sunny Island 4248*. 2005. Dostupné z: <http://www.kyocerasolar.com.au/pdf/si4248.pdf>

## Přílohy:

Průměrné venkovní teploty vzduchu a délka topného období pro jednotlivé lokality:

Lokalita (místo měření)	Nad- mořská výška	Venkovní výpočtová teplota	Otopné období pro					
			t <sub>em</sub> =12 °		t <sub>em</sub> =13 °		t <sub>em</sub> =15 °	
			t <sub>es</sub>	d	t <sub>es</sub>	d	t <sub>es</sub>	d
	h	t <sub>e</sub>	t <sub>es</sub>	d	t <sub>es</sub>	d	t <sub>es</sub>	d
	[m]	[°C]	[°C]	[dny]	[°C]	[dny]	[°C]	[dny]
Benešov	327	-15	3,5	234	3,9	245	5,2	280
Beroun (Králov Dvůr)	229	-12	3,7	225	4,1	236	5,3	268
Blansko (Dolní Lhota)	273	-15	3,3	229	3,7	241	5,1	275
Brno	227	-12v	3,6	222	4,0	232	5,1	263
Bruntál	546	-18v	2,7	255	3,3	271	4,8	315
Břeclav (Lednice)	159	-12	4,1	215	4,4	224	5,2	253
Česká Lípa	276	-15	3,3	232	3,8	245	5,1	282
České Budějovice	384	-15	3,4	232	3,8	244	5,1	279
Český Krumlov	489	-18v	3,1	243	3,5	254	4,6	288
Děčín (Březiny,Libverda)	141	-12	3,8	225	4,2	236	5,5	269
Domažlice	428	-15v	3,4	235	3,8	247	5,1	284
Frýdek-Místek	300	-15v	3,4	225	3,8	236	5,1	269
Havlíčkův Brod	422	-15v	2,8	239	3,3	253	4,9	294
Hodonín	162	-12	3,9	208	4,2	215	5,1	240
Hradec Králové	244	-12	3,4	229	3,9	242	5,2	279
Cheb	448	-15	3,0	246	3,6	262	5,2	306
Chomutov (Ervěnice)	330	-12v	3,7	223	4,1	233	5,2	264
Chrudim	276	-12v	3,6	225	4,1	238	5,9	276
Jabl. Nad Nisou (Liberec)	502	-18v	3,1	241	3,6	256	5,1	298
Jičín (Libáň)	278	-15	3,5	223	3,9	234	5,2	268
Jihlava	516	-15	3,0	243	3,5	257	4,8	296
Jindřichův Hradec	478	-15	3,0	242	3,5	256	5,0	296
Karlovy Vary	379	-15v	3,3	240	3,8	254	5,1	293
Karviná	230	-15	3,6	223	4,0	234	5,3	267
Kladno (Lány)	380	-15	4,0	243	4,5	258	5,0	300
Klatovy	409	-15v	3,4	235	3,9	248	5,2	286
Kolín	223	-12v	4,0	216	4,4	226	5,9	257
Kroměříž	207	-12	3,5	217	3,9	227	5,1	258
Kutná Hora (Kolín)	253	-12v	4,0	216	4,4	226	5,9	257
Liberec	357	-18	3,1	241	3,6	256	5,1	298
Litoměřice	171	-12v	3,7	222	4,1	232	5,2	263
Louny (Lenešice)	201	-12	3,7	219	4,1	229	5,2	260
Mělník	155	-12	3,7	219	4,1	229	5,3	261
Mladá Boleslav	230	-12	3,5	225	3,9	235	5,1	267
Most (Ervěnice)	230	-12v	3,7	223	4,1	233	5,2	264



Lokalita (místo měření)	Nad- mořská výška	Venkovní výpočtová teplota	Otopné období pro					
			$t_{em}=12\text{ °}$		$t_{em}=13\text{ °}$		$t_{em}=15\text{ °}$	
			$t_{es}$	d	$t_{es}$	d	$t_{es}$	d
	h	$t_e$	$t_{es}$	d	$t_{es}$	d	$t_{es}$	d
	[m]	[°C]	[°C]	[dny]	[°C]	[dny]	[°C]	[dny]
Náchod (Kleny)	344	-15	3,1	235	3,7	250	4,8	292
Nový Jičín	284	-15v	3,3	229	3,8	242	5,2	280
Nymburk (Poděbrady)	186	-12v	3,8	217	4,2	228	5,5	262
Olomouc	226	-15	3,4	221	3,8	231	5,0	262
Opava	258	-15	3,5	228	3,9	2329	5,2	274
Ostrava	217	-15	3,6	219	4,0	229	5,2	260
Pardubice	223	-12v	3,7	224	4,1	234	5,2	265
Pelhřimov	499	-15v	3,0	241	3,6	257	5,1	300
Písek	348	-15	3,2	235	3,7	247	5,0	284
Plzeň	311	-12	3,3	233	3,6	242	4,8	272
Praha (Karlovy)	181	-12	4,0	216	4,3	225	5,1	254
Prachatice	574	-18v	3,3	253	3,8	267	5,1	307
Prostějov	226	-15	3,4	220	3,9	228	5,0	261
Přerov	212	-12	3,5	218	3,5	252	5,1	259
Příbram	502	-15	3,0	239	3,8	230	4,9	290
Rakovník	332	-15	3,4	232	4,0	250	5,7	297
Rokycany (Příbram)	363	-15	3,0	239	3,5	252	4,9	290
Rychnov n/Kněžnou	325	-15	3,0	241	3,5	254	4,8	291
Semily (Libštát)	334	-18v	2,8	243	3,4	259	4,7	303
Sokolov	405	-15v	3,4	239	3,9	254	5,4	297
Strakonice	392	-15	3,3	236	3,8	249	5,2	288
Svidník	220	-18v	2,7	224	3,0	237	4,3	269
Svitavy (Moravská Třebová)	447	-15	2,9	235	3,4	248	4,8	286
Šumperk	317	-15v	3,0	230	3,5	242	5,2	277
Tábor	480	-15	3,0	236	3,5	250	5,0	289
Tachov (Stříbro)	496	-15	3,1	237	3,6	250	5,0	289
Teplice	205	-12v	3,8	221	4,1	230	5,3	261
Trutnov	428	-18	2,8	242	3,3	257	5,0	298
Třebíč (Bítoványky)	406	-15	2,5	247	3,1	263	4,6	306
Uherské Hradiště	181	-12v	3,2	222	3,6	233	5,0	266
Ústí nad Labem	145	-12v	3,6	221	3,9	229	5,0	256
Ústí nad Orlicí	332	-15v	3,1	238	3,6	251	4,9	289
Vsetín	346	-15	3,2	225	3,6	236	4,9	270
Vyškov	245	-12	3,3	219	3,7	229	4,9	260
Zlín (Napajedla)	234	-12	3,6	216	4,0	226	5,1	257
Znojmo	289	-12	3,6	217	3,9	226	5,2	256
Žďár nad Sázavou	572	-15	2,4	252	3,1	270	4,7	318